



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

Diseño e implementación de una técnica de entrenamiento de la visión periférica

Design and implementation of a technique to train peripheral vision skills

Autor

Jorge Terreu Serrano

Director

Pablo Urcola

Ponente

Francisco Javier López Pellicer

Ingeniería Informática

Escuela de Ingeniería y Arquitectura

2020

Resumen

Este trabajo desarrolla el diseño e implementación de una técnica de entrenamiento de la visión periférica. Para ello y anterior a la elección de la característica visual a entrenar, se analiza el estado del arte de las técnicas de entrenamiento visuales, así como su incidencia en la vida cotidiana de la población general.

Para comprobar la efectividad de la técnica desarrollada se elabora un test de medición que permite cuantificar las capacidades visuales periféricas antes y después del entrenamiento. Con un protocolo de estudio piloto, se lleva a cabo un entrenamiento con sujetos reales en el que se incluyen 3 sujetos que forman el grupo activo formado por 3 personas y 1 sujeto placebo.

Los resultados hallados muestran que tras 5 días de entrenamiento los sujetos mejoran su visión periférica y ralentizan su motilidad ocular rápida. El sujeto placebo muestra una mejora mayor que el resto de los sujetos, aunque se considera prematuro sacar conclusiones debido a que se trata de una única muestra placebo que además coincide con el sujeto que peores resultados obtuvo al comienzo.

Se recomienda continuar la investigación sobre la eficacia de la técnica implementada con una muestra mayor que incluya un grupo inactivo y con un test protractor (utilizado en la medición de las capacidades visuales periféricas) comercial para estandarizar al máximo el proceso.

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN	1
2	ESTUDIO DEL ARTE ACTUAL	4
2.1	CARACTERÍSTICAS VISUALES Y SU NATURALEZA	4
2.2	TÉCNICAS DE ENTRENAMIENTO Y MEDICIÓN ACTUALES	5
2.3	IMPACTO DE LAS CARACTERÍSTICAS VISUALES EN LA VIDA COTIDIANA	8
2.4	IMPACTO DE LAS CARACTERÍSTICAS VISUALES EN LOS ESPORTS	9
2.5	DECISIÓN DE LA CARACTERÍSTICA VISUAL A ENTRENAR	9
3	DISEÑO DE LA TÉCNICA DE ENTRENAMIENTO Y MEDICIÓN	11
3.1	ENTRENAMIENTO	11
3.2	TEST DE MEDICIÓN	12
4	IMPLEMENTACIÓN CON UNITY Y EL EYE TRACKER	14
4.1	ENTRENAMIENTO	14
4.2	TEST DE MEDICIÓN	19
4.3	PROBLEMAS ENCONTRADOS	21
5	ESTUDIO PILOTO	23
5.1	DISEÑO DEL PROTOCOLO DE ENTRENAMIENTO Y MEDICIÓN	23
5.2	EJECUCIÓN DEL ESTUDIO PILOTO	25
5.3	RESULTADOS	26
6	ANÁLISIS DE RESULTADOS	31
7	CONCLUSIONES	33
7.1	PROYECTO	33
7.2	REFLEXIÓN PERSONAL	34
8	BIBLIOGRAFÍA	36
	Anexo 1 CARACTERÍSTICAS VISUALES EN DETALLE	39
	Anexo 2 TÉCNICAS DE ENTRENAMIENTO Y MEDICIÓN DE LAS HABILIDADES VISUALES	42
	Anexo 3 CARGA VISUAL EN ACTIVIDADES COMUNES	46
	Anexo 4 CARGA VISUAL EN LA VIDA COTIDIANA POR EDAD	54
	Anexo 5 IMPACTO DE LAS CARACTERÍSTICAS VISUALES EN LOS E-SPORTS	58
	Anexo 6 SOFTWARE EN DETALLE	61
	Anexo 7 RESULTADOS DEL ESTUDIO PILOTO EN DETALLE	65

1 INTRODUCCIÓN

El objetivo de este trabajo es encontrar una técnica de entrenamiento para mejorar una habilidad visual que desempeñe un papel importante en la vida cotidiana de la población general. Debido a la relación de la empresa Bitbrain con el sector de los esports se busca también que tenga potencialmente una incidencia positiva en este ámbito.

La empresa de neurotecnología Bitbrain centra su trabajo en las 4 áreas humanas en las que el cerebro interviene de forma determinante. Éstas son el área cognitiva, el área emocional, el área onírica y el área sensorial. Para abarcarlas, trabaja desde tres perspectivas diferentes y complementarias. En primer lugar *“human monitoring”*, encargada de recopilar datos para después analizarlos y entenderlos en la parte de *“human understanding”*. Por último y como objetivo final de la empresa se encuentra *“human enhancing”* dónde todo el trabajo realizado busca su aplicación a la población general para conseguir mejorar la calidad de vida de las personas.

El trabajo desarrollado se sitúa en el área sensorial en el apartado de *“human enhancing”* teniendo como fin último mejorar la visión periférica para identificar estímulos en la periferia en menor tiempo y con mayor precisión, con la consecuente mejora de calidad de vida.

Este trabajo viene motivado por el estudio SuperVision en el que se implementan 3 juegos que ejercitan la visión periférica y donde se obtienen resultados positivos de mejora utilizando como medición el test protractor, el mismo que se utiliza en este trabajo.

Se ha llevado a cabo un estudio del estado del arte de las técnicas de entrenamiento para conocer las posibilidades y formas de ejercitar las habilidades visuales, que concluye con un análisis del impacto de estas habilidades en la vida cotidiana y los esports. Resultado de ello, se ha reafirmado la visión periférica como característica visual a entrenar por su impacto en el día a día y se han adquirido conocimientos sobre las habilidades visuales y aspectos de su ejercicio que han sido fundamentales en el diseño del entrenamiento y la medición. Todo este trabajo se refleja en los dos primeros apartados: *“Estudio del arte actual”* y *“Decisión de la característica visual a entrenar”* y se desarrollan con mayor detalle partes específicas en los 5 anexos al final de la memoria.

Para diseñar el entrenamiento se han fijado una serie de requisitos principales que la tarea debe satisfacer. Así, tiene que ser sencilla con instrucciones simples que requieran una escasa carga cognitiva, además de competitiva y entretenida, dos valores que fomentan la implicación y el esfuerzo en el entrenamiento. También debe permitir incorporar la herramienta del *Eye Tracker* para potenciar el entrenamiento de la facultad concreta de la visión periférica. La tarea elegida es el juego de la sopa de letras con hándicap porque el Eye Tracker oculta la visión focal obligando a resolver la tarea con la visión periférica exclusivamente. Para medir la eficacia del entrenamiento desarrollado es necesario medir las capacidades visuales periféricas antes y después del mismo. Para ello se utiliza el instrumento protractor, también usado en el estudio de referencia SuperVision y otros. Adicionalmente se cuenta con un test secundario de motilidad ocular, que se desarrolló con el fin de testear las posibilidades de mejora de esta característica y que se mantiene para, de forma secundaria, analizar el impacto de la posible mejora de la visión periférica en la motilidad ocular. El apartado del diseño se analiza con detenimiento en la sección “Diseño de la técnica de entrenamiento y medición”.

La sopa de letras con hándicap y el test secundario de medición se han implementado con la plataforma Unity y el lenguaje C Sharp. Para gestionar el flujo de datos entre el juego y la herramienta Eye Tracker han sido fundamentales los módulos desarrollados por Tobii (marca del Eye Tracker) para Unity. Esta parte es la más importante del juego ya que proporciona la información de la posición ocular. La lógica del juego y otras funcionalidades adicionales como por el ejemplo el guardado de partidas se implementan en el script principal que se incorpora en la escena del juego a través de un componente. El resto de las funcionalidades, así como la dinámica del juego en detalle se desarrolla en “Implementación con Unity y el Eye Tracker”.

El instrumento protractor utilizado en la medición principal consiste en una semicircunferencia con los ángulos marcados alrededor de la cual el investigador pasa tarjetas con estímulos que el sujeto debe identificar con la visión periférica mientras mantiene su foco visual en el centro. Este instrumento se ha creado de forma casera con cartón siguiendo la misma referencia que en SuperVision (Science Buddies, 2016).

Para comprobar la eficacia de la técnica desarrollada, se decide aplicarla a sujetos reales en un estudio. En la sección “Estudio piloto” se explican las decisiones del protocolo utilizado,

basadas en su mayoría en el trabajo de SuperVision, como por ejemplo la duración de cada entrenamiento diario o la del estudio completo. De esta manera, tres sujetos activos y un placebo realizan el entrenamiento durante 5 días, midiendo el día de antes y el de después sus capacidades visuales de visión periférica y motilidad ocular.

Los resultados del estudio muestran una mejora de la visión periférica que permite a los sujetos identificar los estímulos en la periferia a partir de ángulos alrededor de un 9% mayores en el caso de la forma y un 2% en el color. La velocidad de la motilidad ocular se reduce en un 9% de media, justificado por un entrenamiento donde destaca la inspección con detenimiento y precisión por encima de la rapidez. El sujeto placebo obtiene unos resultados de mejora de la visión periférica mayores que el resto, aunque se puede atribuir a que es el que peor resultados obtiene al comienzo y a una muestra excesivamente pequeña. Por ello, después del apartado “Análisis de Resultados” donde se razonan estos y otros resultados, se recomienda en el apartado “Conclusiones” proseguir este estudio con una muestra mayor entre otras cosas, ahora que las limitaciones del Covid19 son menores.

2 ESTUDIO DEL ARTE ACTUAL

El primer apartado del proyecto recoge un estudio básico de las habilidades visuales y su naturaleza, y repasa el estado actual de las técnicas de entrenamiento y medición. Todo ello guía en el siguiente capítulo a la decisión de la habilidad visual a entrenar analizando los motivos de ésta.

La investigación de las características visuales que se presenta a continuación servirá también para orientar al lector en el marco de estudio del trabajo.

2.1 CARACTERÍSTICAS VISUALES Y SU NATURALEZA

Las características visuales hacen referencia a las diferentes acciones que lleva a cabo el sistema visual para proporcionar una información visual lo más correcta posible. Ejemplos de ello son la visión periférica, la distinción de la forma o la agudeza visual, una de las más conocidas con los tests de Snellen de los oftalmólogos. (Figura 1)

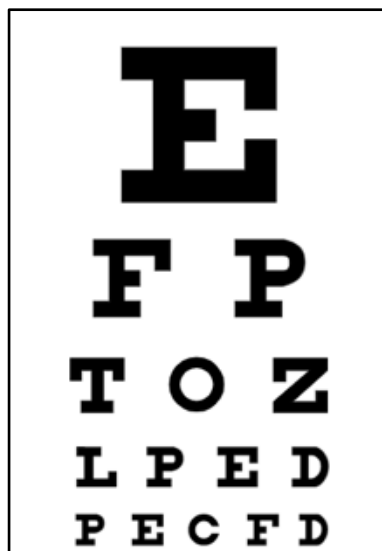


Figura 1: Cuadro o Test de Snellen, característico de las revisiones oftalmológicas.

Estas características visuales se agrupan de acuerdo con su naturaleza. De esta manera se distinguen las características puramente oculares, de cuyo correcto funcionamiento se encarga principalmente el ojo, de las características relacionadas con el cerebro, donde además de una correcta visión, es muy importante un buen funcionamiento del córtex visual (O'Regan & Noë, 2001). En el ejemplo anterior de las habilidades visuales, la visión periférica y la agudeza visual corresponden a características visuales oculares mientras que la distinción

de la forma pertenece a las relacionadas con el cerebro. A continuación, se refleja la lista completa de habilidades organizadas de acuerdo con su naturaleza. (Catalan Association of Optometry, n.d.) (Purves et al., 2001)

Características visuales oculares:

Resolución
- Convergencia
- Acomodación
- Constricción
Motilidad ocular
- Movimiento sacádico
- Seguimiento
- Fijación
Agudeza Visual
- Estática
- Dinámica
Visión binocular 3d
- Esteropsis
- Visión monocular
- Percepción de la profundidad
Entorno físico
- Reacción visual a cambios físicos
- Sensibilidad al contraste
- Visibilidad con luminosidad reducida
Otros
- Flexibilidad acomodativa
- Flexibilidad de fusión
- Movimiento vestíbulo-ocular
- Visión Periférica
- Dominancia Ocular

Características visuales cognitivas:

Análisis visual
- Distinción de colores
- Distinción de forma
- Distinción del objeto de su fondo
- Cierre visual
- Memoria visual
Percepción visual
- Velocidad de reconocimiento visual
- Detección de la información visual mínima crucial
- Automatización de la percepción visual
Otro
- Integración audio-visual
- Habilidad espacio-visual
- Coordinación ojo-mano

En ocasiones, la línea entre unas habilidades visuales y otras está difuminada debido a que se usan de manera conjunta o complementaria.

En el Anexo I: “Características visuales en detalle”, aparece una descripción de cada una de ellas que el lector puede consultar.

2.2 TÉCNICAS DE ENTRENAMIENTO Y MEDICIÓN ACTUALES

Las características visuales tienen modos y posibilidades de entrenamiento muy diferentes. En primer lugar, las habilidades relacionadas con el cerebro tienen un enfoque más amplio a la hora de ser entrenadas ya que hay que tener en cuenta tanto el ejercicio de la visión como el funcionamiento y la coordinación con el córtex visual.

Por otro lado, hay algunas características que tienen una posibilidad de mejora muy reducida. Por ejemplo, los movimientos sacádicos. Se trata de movimientos oculares realizados por la contracción y relajación de los 6 músculos extraoculares que hay alrededor de cada globo ocular (García-Castellón, 2012). Al ser un movimiento mecánico que se realiza continuamente en el día a día, está muy optimizado y sus tiempos medios de ejecución de entre 20 y 200 milisegundos son prácticamente irreducibles. De hecho, con su velocidad angular máxima de 1000 grados por segundo, es la parte externa del cuerpo humano más rápida (Rutkowski, L., Tadeusiewicz, R., Zadeh, L.A., Zurada, 2008).

Cabe mencionar la escasez de estudios sobre técnicas de entrenamiento de capacidades visuales e incluso artículos sobre habilidades específicas que dudan de la transferencia de la mejora a la vida real. (Faubert & Sidebottom, 2012) (Janet L. Starkes, 2003) Todo esto demuestra que es un terreno experimental que se encuentra en una fase inicial de su desarrollo.

Es muy importante considerar la fatiga visual a la hora de realizar los entrenamientos, así como el estado de ánimo de la persona ya que tiene una incidencia no despreciable en la efectividad de las capacidades visuales. (Wyczesany et al., 2018) Las funciones visuales forman parte de un sistema que comparte recursos y aunque se estudien por separado por cuestiones de sencillez, no se debe olvidar que son parte de un todo. Este experimento, en el que jugadores de hockey obtuvieron mejores resultados en una tarea sentados que estando de pie, es muestra de esta compartición de recursos. (Faubert & Sidebottom, 2012)

Tan importante como el entrenamiento son los tests de medición que permiten cuantificar la mejora. Las tareas llevadas a cabo en el entrenamiento y en la medición deben ser diferentes para garantizar una transferencia real y no un aprendizaje en la tarea concreta. Es necesario tener en cuenta varios aspectos a la hora de medir, como el aprendizaje en el propio test. La segunda vez que se realiza el test (post entrenamiento) es probable que haya una mejora en el resultado del mismo independiente del entrenamiento y fruto de que el sujeto ya conoce el test. Una solución a este problema consiste en incluir en el estudio un grupo inactivo que no realice el entrenamiento para cuantificar la posible mejora y corregirla en el grupo activo. Además, en la elección del test se da preferencia a aquellos que están estandarizados y siguen

un protocolo conocido y aceptado por la comunidad, debido a que se usan en más estudios y están validados por otras personas.

La sección “**Diseño del protocolo de entrenamiento**”, en la última parte del trabajo, ahonda en este tema y justifica las decisiones del protocolo empleado en el estudio.

Se muestra a continuación un ejemplo de entrenamiento y medición utilizado para mejorar la agudeza visual. Éste, respaldado por diversos estudios, consiste en identificar “*gabor patches*” de diferentes maneras. Un *gabor patch* es un elemento con un contraste específico que ayuda a mejorar la sensibilidad al contraste, clave en la agudeza visual. (Durrie & McMinn, 2007) Se puede apreciar este elemento en la Figura 2.

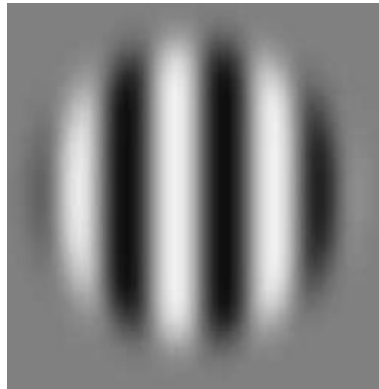


Figura 2: Gabor Patch, forma con mucho contraste que supone un reto para la agudeza visual.

Para la medición de la agudeza visual se tratan por separado sus dos subcategorías, estática y dinámica. La agudeza visual es la capacidad que nos permite ver con nitidez objetos a diferentes distancias. La estática se mide parado y la dinámica en movimiento. Es muy habitual el uso de los tests de Snellen (ver Figura 1), donde se debe identificar las letras del panel que tienen diferentes tamaños. Para la agudeza visual dinámica se utiliza este mismo panel mientras un profesional mueve la cabeza del sujeto de izquierda a derecha con una frecuencia aproximada de unos 2 Hertzios. (Gimmon & Schubert, 2019)

Para saber más sobre este test y cómo influye la diferente densidad de cada letra en los resultados, consúltese esta referencia. (Palazzo, 2017)

En el anexo II: “Técnicas de entrenamiento y medición de las habilidades visuales”, aparecen reflejados diferentes entrenamientos y tests utilizados en la actualidad con cada característica visual.

2.3 IMPACTO DE LAS CARACTERÍSTICAS VISUALES EN LA VIDA COTIDIANA

El objetivo de este trabajo consiste en crear un entrenamiento para mejorar una habilidad visual y generar un impacto positivo en un público general. Para ello es necesario analizar qué características visuales juegan un papel más importante en el día a día.

La medida del impacto en la vida cotidiana se ha analizado a través de la implicación de las habilidades visuales en actividades rutinarias como la lectura, la conducción, la escritura, etc. Estas actividades son altamente representativas debido a que la mayoría de la población las realiza todos los días.

Estas son las habilidades visuales predominantes en las siguientes actividades cotidianas:

- **Conducir:** visión binocular, reacción visual a cambios físicos, flexibilidad acomodativa, visión periférica y detección de información mínima crucial
- **Leer:** movimientos sacádicos, visión periférica y rapidez de reconocimiento visual.
- **Escribir:** movimientos sacádicos y coordinación ojo-mano.
- **Cocinar/comer:** visión binocular, distinción de colores y coordinación ojo-mano.
- **Ocio visual:** visión periférica y memoria visual.
- **Hacer deporte:** visión binocular, flexibilidad acomodativa, visión periférica, automatización de la percepción visual y coordinación ojo-mano.

En el anexo III: “Carga visual en actividades comunes” se puede consultar la lista completa de actividades con todas las características visuales que intervienen y la explicación de su importancia.

Debido a que cada sector de la población realiza con diferente frecuencia y dinamismo las actividades cotidianas según el grupo de edad al que pertenecen, resulta de gran interés realizar una aproximación desde esta perspectiva. De esta manera se distinguen tres franjas de edad; la juventud (de 18 a 30 años), la madurez (de 31 a 65) y la vejez (de 66 en adelante).

- En la juventud las capacidades visuales alcanzan su máximo potencial. Es una época donde el estilo de vida es muy activo con un peso importante del estudio o el trabajo en el día a día. En este periodo las habilidades visuales predominantes son los

movimientos sacádicos y de seguimiento, la reacción visual a cambios de luz, la visión periférica, la memoria visual y la automatización de la percepción visual.

- En la madurez, el estilo de vida es menos activo y comienza el deterioro de alguna capacidad visual. El trabajo tiene mucho peso en el día y en muchas ocasiones se lidia con estrés que puede afectar a las capacidades visuales. Predominan los movimientos sacádicos y de seguimiento, la visión periférica y la automatización de la percepción visual.
- En la vejez algunas capacidades visuales están mermadas, el estilo de vida es inactivo y destaca la tranquilidad en el día a día. Son importantes la agudeza visual estática, la visión binocular y la coordinación ojo-mano.

En el anexo IV: “Carga visual en la vida cotidiana por edad” aparecen las habilidades visuales más usadas en cada franja junto con una explicación detallada.

2.4 IMPACTO DE LAS CARACTERÍSTICAS VISUALES EN LOS ESPORTS

Para analizar la implicación de las habilidades visuales en los deportes electrónicos, también conocidos como esports, de manera análoga al punto anterior se han elegido tres juegos populares de esports como son el *Fornite*, el *LOL* y el *Fifa* para analizar.

En el anexo V: “Impacto de las características visuales en los esports” aparece detallada la dinámica de cada juego junto con las habilidades visuales predominantes en cada uno.

A nivel general, destaca la importancia de la motilidad ocular (movimientos sacádicos y de seguimiento), visión periférica, automatización de la percepción visual y coordinación ojo mano.

2.5 DECISIÓN DE LA CARACTERÍSTICA VISUAL A ENTRENAR

Del análisis de los estudios anteriores se concluye que las cinco características visuales con mayor impacto en la vida cotidiana (y relevancia en los esports) son la motilidad ocular, la visión periférica, la automatización de la percepción visual, la coordinación ojo mano y la memoria visual.

Las características visuales relacionadas con el cerebro tienen un enfoque más amplio a la hora de ser entrenadas ya que hay que considerar tanto el ejercicio de la visión como el funcionamiento y la coordinación con el córtex visual. Por este motivo se han descartado la automatización, la memoria visual y la coordinación para centrar la elección en las puramente oculares; visión periférica y motilidad ocular, con un enfoque centrado exclusivamente en el área sensorial.

Contrastando los análisis anteriores con profesionales del campo de la visión de la universidad de Extremadura, se concluyó que el margen de mejora de la motilidad ocular es mucho más pequeño que el de la visión periférica. Esto se debe a la influencia de los músculos físicos extraoculares en este movimiento, lo cual limita la posible mejora.

Por todo ello, este proyecto trabaja sobre la característica visual de la **visión periférica**.

De los estudios que implementan técnicas de entrenamiento de esta habilidad visual cabe destacar SuperVision (Ramirez Gomez & Gellersen, 2019). En esta investigación se llevan a cabo 3 diferentes ejercicios que buscan mejorar aspectos específicos de la visión periférica como la distinción de color y forma.

3 DISEÑO DE LA TÉCNICA DE ENTRENAMIENTO Y MEDICIÓN

3.1 ENTRENAMIENTO

Debido a la intención de abarcar un público general y en beneficio de la claridad de las conclusiones que se puedan extraer del estudio posterior, es primordial mantener la sencillez en el entrenamiento. De la misma manera, cuanto más fáciles sean las instrucciones menor carga cognitiva requieren y mayor enfoque puede realizar el sujeto en el ejercicio de la habilidad entrenada.

Conviene que el entrenamiento tenga un formato de juego para fomentar la competitividad y diversión (a través de la jugabilidad) del mismo. Ambas facultades sumergen al sujeto en la tarea y hacen que la disfrute incrementando su concentración y con ello la eficacia del entrenamiento. Es por ello que, a partir de ahora, se referirá en ocasiones al entrenamiento como juego.

El objetivo es diseñar un juego digital que permita incorporar la herramienta del *Eye Tracker* para potenciar el entrenamiento de la facultad concreta de la visión periférica. Además, es beneficioso que el juego tenga una base conocida, inspirado en un juego popular. Esto familiariza al sujeto con la tarea, facilita la comprensión del ejercicio e incrementa los componentes de jugabilidad y competitividad mencionados anteriormente.

Un juego que cumple con todos estos requisitos es la sopa de letras. El *Eye Tracker* introduce una importante variante en el juego tradicional que permite entrenar la visión periférica. Esta modificación consiste en ocultar las letras de la sopa en el foco visual del sujeto (allá donde esté mirando), obligándole a emplear su visión periférica para resolver la tarea.

El juego debe mostrar un resultado positivo de entrenamiento, es decir que los sujetos cada vez obtengan mejores resultados al realizar la tarea. Para poder cuantificarlo es necesario incorporar una medida de éxito principal que en este caso es el número de letras encontradas en un periodo de tiempo concreto.

3.2 TEST DE MEDICIÓN

Una de las herramientas más estandarizadas para medir la visión periférica es el *protractor*, un instrumento compuesto por un semicírculo con los grados marcados que permite conocer a partir de qué grados una persona es capaz de distinguir un estímulo en la periferia (Figura 3) (Science Buddies, 2016). En uno de los estudios referencia de este trabajo (Ramirez Gomez & Gellersen, 2019) que implementa técnicas de mejora de la visión periférica, también lo utilizan para llevar a cabo la medición. Esto facilitará a la hora de comparar resultados y rangos de mejora.



Figura 3: protractor industrial, se utiliza para medir los ángulos de la visión periférica

La visión periférica abarca unos 210 grados lateralmente mientras que el foco central donde se alcanza la mayor nitidez tan solo 5. (Alberto Domingo Ingui Volpe, 2013) En vertical este ángulo se reduce a 120 grados.

El test *protractor* funciona de la siguiente manera. El sujeto sostiene el instrumento de forma totalmente horizontal y pegado a la nariz justo debajo de la altura de los ojos. Un investigador pasa cartones rectangulares con diferentes colores y figuras escritos por izquierda y derecha del sujeto indistintamente. El sujeto informa al investigador del momento en el que es capaz de identificar el color y figura escrito sobre el elemento. Estas dos informaciones no tienen por qué ser la misma medida, de hecho, lo normal es que no sea así. El investigador apunta el ángulo con el que el sujeto ha identificado correctamente el color y figura del estímulo.

Como se ha comentado con anterioridad es importante que el ejercicio de medición y el de entrenamiento sean diferentes para garantizar una transferencia real. Si ambas tareas son

similares, los resultados de mejora estarán sesgados por la posibilidad de que el sujeto haya aprendido a hacer la tarea mejor al margen de si ha mejorado su visión periférica o no.

Por último, se incluye en la medición un test secundario que mide la velocidad de reacción del ojo al mover la vista de un cuadrado fijo a un cuadrado que aparece de forma espontánea en una posición aleatoria reemplazando al primero. Este test se desarrolló como una aproximación para conocer la posibilidad de mejora de la motilidad ocular (analizado en el apartado *decisión de la característica visual a entrenar*). Se ha mantenido como test secundario para conocer la incidencia de la posible mejora de la visión periférica en movimientos oculares rápidos. La manera en la que podría influir es disminuyendo el tiempo que tarda el sujeto en identificar con la visión periférica que hay un nuevo cuadrado al que tiene que dirigir la mirada.

4 IMPLEMENTACIÓN CON UNITY Y EL EYE TRACKER

El ejercicio de entrenamiento y la medición se han realizado con la plataforma de desarrollo Unity y el lenguaje C Sharp, desarrollado por Microsoft y basado en C. Uno de los motivos principales de esta elección es la compatibilidad del *Eye Tracker* de *Tobii* (que se emplea en el trabajo) con Unity gracias a los módulos de integración incluidos en el SDK (kit de desarrollo) de *Tobii*.

4.1 ENTRENAMIENTO

La **estructura** de Unity está compuesta por escenas que contienen componentes con determinada apariencia y comportamiento. Cada uno de estos componentes puede tener scripts asociados que determinan las acciones que llevan a cabo. La estructura de componentes en la escena donde se sitúa el entrenamiento está formada por un panel principal (pantalla) sobre el que se sitúan cuadros de texto, botones para clicar (las letras de la sopa) y otros paneles descendientes como el cuadro de controles.

La **acción** en Unity se programa en scripts desarrollados en C Sharp que entran en el juego asociados a diferentes componentes.



Figura 4: Esquema de la plataforma Unity. A son todos los componentes, B la escena que estás editando, C los atributos y scripts del componente actual y D la consola.



Figura 5: Eye Tracker Tobii pro nano (modelo utilizado en el trabajo).

En el programa de entrenamiento se distinguen **4 acciones principales**, cada una de ellas asociada a un componente diferente. Todas ellas se nutren de la información de la posición ocular proporcionada por un componente llamado “Eye Tracker” que gestiona el flujo de datos con el propio instrumento (Figura 5).

Las 4 acciones son:

- **Calibración**

Se activa mediante la pulsación de la tecla ‘C’ en cualquier momento de la partida. Reajusta las medidas del sujeto en el Eye Tracker con respecto a un patrón de referencia.

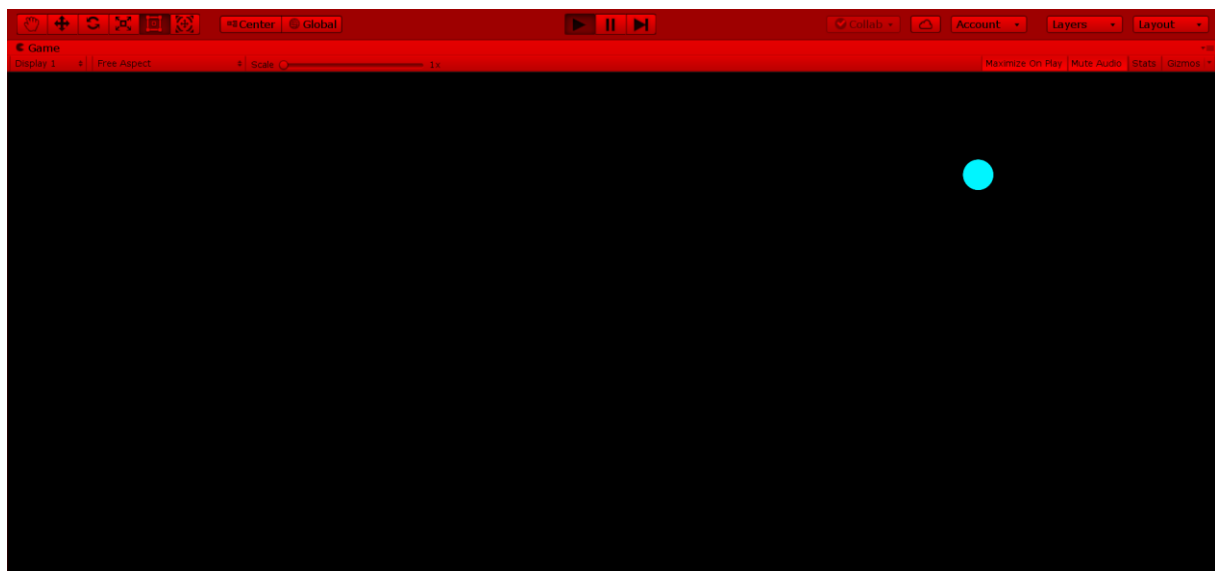


Figura 6: Calibración del Eye Tracker.

El módulo utilizado para realizar esta acción proviene de la guía de referencia de Tobii para el SDK de Unity (Getting Started - Tobii Developer Zone, n.d.).

También se utiliza la calibración del programa Eye Tracker Manager (fuera de Unity) debido a que se trata de un proceso más completo que el integrado en el propio juego,

el cual tiene el objetivo de corregir cualquier descalibración que pueda ocurrir en la partida.

- **Guardado de la posición ocular:**

Se activa mediante la pulsación de la tecla 'S' y almacena los datos en un fichero XML. Este componente guarda la posición ocular continuamente a una velocidad máxima de 60 Hz, lo que se traduce a 1 toma cada 17 milisegundos.

Estos ficheros son pesados ya que, aunque se trata de texto, guardan miles de tomas de posición por minuto. A través de ellos, se puede obtener el recorrido visual completo que ha realizado el sujeto para someterlo a análisis. Este componente también está incluido en la guía de referencia de Tobii para Unity mencionada anteriormente.

- **Marcado de la posición ocular en la pantalla:**

Este módulo de Tobii dibuja la vista del usuario en la pantalla. Sus opciones de configuración son amplias, permitiendo desde aumentar la frecuencia de actualización del marcado de la posición hasta variar el tamaño y número de puntos reflejados en la pantalla.

- **El juego:**

Este es el módulo principal del entrenamiento. Implementa toda la lógica del juego además de funcionalidades adicionales como la identificación de usuarios, el replicado de partidas a partir de una guardada, la dificultad de la partida... Por último, también se encarga de coordinar las 3 acciones explicadas anteriormente para crear una experiencia de juego conjunta.

Nada más comenzar la partida, se calculan aleatoriamente un dígito (número o letra) y un número de ocurrencias que tendrá que encontrar el sujeto y se comunican por pantalla. Tanto el dígito como el número de ocurrencias se encuentran parametrizadas para permitir por un lado determinar un conjunto del que se elige el dígito y por otro el máximo y mínimo de ocurrencias a encontrar. Este patrón de diseño se sigue a lo largo de todo el juego permitiendo crear un entrenamiento muy modular donde se pueden realizar cambios de su configuración desde el panel lateral del juego (letra C en la Figura 4). En esta ocasión, el hecho de poder

elegir el conjunto de letras posibles a buscar permite no introducir letras con una caligrafía similar evitando incrementar sin intención la dificultad del juego.

Cuando el sujeto presiona el espacio, se muestran todas las letras de la sopa esparcidas por la pantalla en posiciones aleatorias (Figura 7). Se impone una separación mínima entre estas posiciones para evitar su sobreposición. Las letras de relleno, al igual que la buscada, se eligen de forma aleatoria de un conjunto.

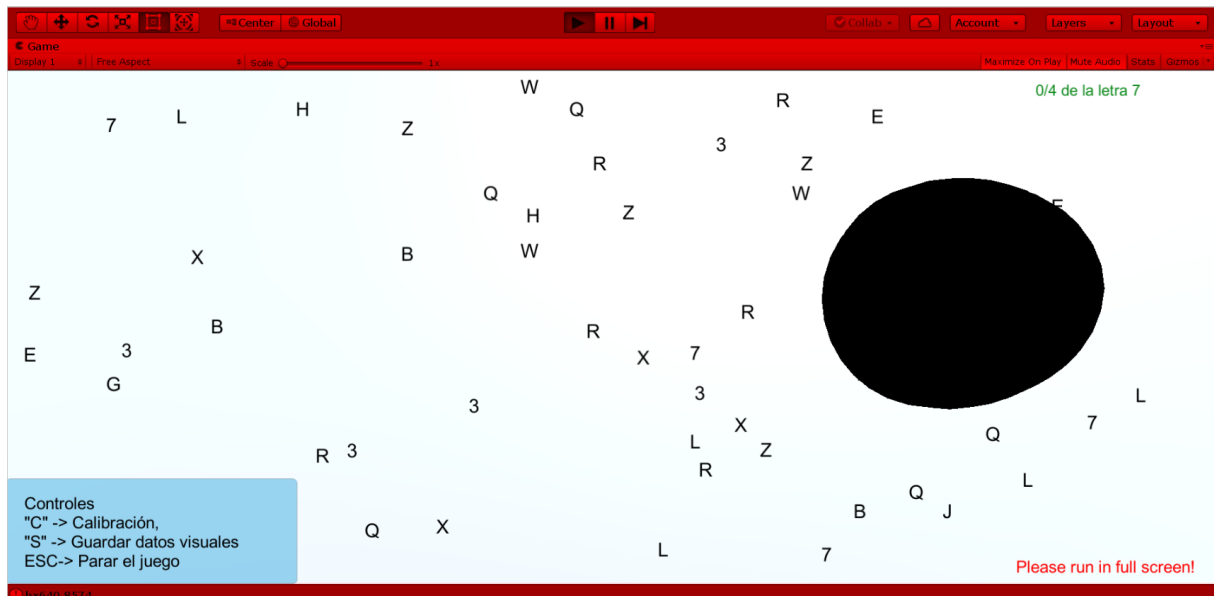


Figura 7: Escena del juego en activo donde el sujeto debe encontrar 7 ocurrencias del dígito 4. La circunferencia negra representa su posición ocular.

Se ha planteado un sistema de niveles de dificultad que permiten adaptar el entrenamiento a sujetos con mayor o menor habilidad en la tarea. Hay 5 niveles de dificultad que se diferencian por el número de letras que aparecen en la pantalla y por su tamaño (grande, mediano o pequeño). A mayor nivel de dificultad, más letras en la pantalla y más probabilidad de tener letras de tamaño inferior. En la periferia cuánto menor tamaño tiene el estímulo, más difícil es identificarlo, al igual que si la pantalla está rellena de más letras al provocar el efecto de abarrotamiento (Levi & Carney, 2009).

Para determinar el nivel en el que se clasifica al sujeto, se incluye en el juego una opción de realizar una prueba inicial. Esta prueba consiste en una partida estándar con dificultad media. Para nutrirlo con información sobre lo que es fácil o difícil, se han buscado diferentes sujetos que realicen la prueba, estableciendo el nivel de dificultad máximo para los que obtenían el mejor resultado, el mínimo para los peores, y ponderando los intermedios.

Volviendo al panel inicial del juego, el sujeto debe encontrar el número de ocurrencias de la letra indicada durante un tiempo máximo de 2,5 minutos. Este tiempo, así como el número de rondas a jugar, son decisiones razonadas con mayor detalle en la sección del protocolo del estudio. Si el sujeto consigue hallar todas las repeticiones antes de que acabe el tiempo, la sopa de letras se renueva automáticamente. La medida de éxito principal es entonces el número de ocurrencias encontradas.

En la esquina superior derecha, aparece en todo momento un marcador que indica el número de ocurrencias encontradas, así como el total a buscar y el dígito en cuestión. (Figura 7)

Por último, se encuentra el componente encargado de ocultar la visión focal. Para ello se dibuja una circunferencia negra donde el sujeto posiciona su vista. El radio de esta circunferencia varía en función de la distancia del sujeto a la pantalla a razón de un ángulo de 2 grados medido desde los ojos debido a que éste es el rango que ocupa la visión focal. De esta manera, si el sujeto se aleja de la pantalla la circunferencia crece para adaptarse y mostrar las letras de la sopa exclusivamente en el área visual periférica.

Cabe mencionar un aspecto importante sobre la implementación de esta circunferencia. El modelo del Eye Tracker de Tobii es el Pro Nano con una frecuencia máxima de 60Hz, lo que supone una toma de la posición ocular cada 17 milisegundos. Se ha comprobado que en movimientos oculares rápidos el Eye Tracker llega lo suficientemente tarde como para permitir al sujeto identificar las letras con su visión focal antes de ocultarlas con la circunferencia negra. Para obligar en todo momento a usar la visión periférica se han modificado ligeramente las condiciones de inspección visual del juego de la siguiente manera.

Si el sujeto hace un movimiento ocular grande, desaparecen todas las letras hasta que fija la vista en un punto, la circunferencia negra oculta su visión central y reaparecen las letras. Es una manera de “esperar” a la circunferencia negra en aquellos movimientos oculares en los que es más probable que llegue tarde.

Por último, al finalizar cada ronda el sujeto visualiza un resumen de los resultados obtenidos que incluye el número de ocurrencias encontradas y los fallos.

Como funcionalidad extra, el juego es capaz de guardar las partidas (dígitos y posición) para que dos sujetos diferentes se enfrenten a la misma partida exactamente, con las mismas

posiciones y letras. Esto, junto con el guardado de la posición ocular, permite reproducir por completo un entrenamiento finalizado lo que repercute muy positivamente en la posibilidad de análisis a posteriori (después del juego).

El desarrollo del software ha supuesto un tiempo de más de 2 meses que a un ritmo de trabajo de 12 horas semanales, equivale a unas 120 horas. En el anexo 6: Software en detalle, se muestran partes concretas del código que llevan a cabo acciones con peso dentro del entrenamiento y de la medición. Los principales problemas encontrados se detallan en el punto 4.3.

4.2 TEST DE MEDICIÓN

En este apartado se analiza la implementación del test secundario que mide la velocidad de la motilidad ocular. Este test se desarrolló para testear la posibilidad de mejora de la motilidad ocular (en la primera parte del trabajo) y cuando finalmente se eligió la visión periférica adoptó un rol de test secundario para conocer la influencia del entrenamiento de la visión periférica en la velocidad de los movimientos sacádicos rápidos. El test principal es el *protractor* que se explica en la sección anterior de “Diseño del test de medición”.

A nivel técnico el test secundario está integrado en el propio juego con una opción en el panel lateral (C en la Figura 4) que permite elegir entre entrenamiento o medición.

El test consiste en un cuadrado fijo en el centro de la pantalla que el sujeto debe mirar fijamente (Figura 8). En un tiempo aleatorio entre 1 y 2 segundos y siempre que el sujeto mantenga la vista fija en el cuadrado central, éste desaparece y aparece en una posición aleatoria de 4 posibles prefijadas; arriba, abajo, derecha e izquierda. Se mide el tiempo desde que el cuadrado cambia de posición hasta que el usuario mueve la vista a la nueva posición.



Figura 8: Panel de desarrollo de la escena del test de medición.

Este test requiere una gran precisión ya que las medidas se mueven entre los 10 y los 300 milisegundos. De esta manera se utilizan cuadrados de tamaño reducido con una pequeña área a su alrededor para corregir el margen de error de precisión del Eye Tracker.

Para conseguir una precisión mayor se busca hacer esta área de margen lo menor posible. Con este objetivo se realiza una recalibración antes de comenzar el test en la que se muestran las 4 diferentes posiciones en las que puede aparecer el nuevo cuadrado fijando el usuario la vista en cada una de ellas presionando el espacio para pasar a la siguiente. Así, se guarda una muestra de la posición de los ojos exactamente cuando el usuario está mirando a cada posición.

Una vez calibrado, el usuario presiona el espacio de nuevo y comienza la medición. Si no mantiene la vista en el cuadrado central, nunca cambiará de posición. Una vez que aparece el nuevo cuadrado y el sujeto mueve su vista a la nueva posición, aparece automáticamente un resumen con el tiempo que ha tardado. Este tiempo está compuesto por dos partes. Por un lado, lo que ha tardado en reaccionar al cambio, es decir, en comenzar el movimiento y por otro, el propio recorrido de un cuadrado a otro. Para diferenciar las dos partes se toma en cuenta la posición ocular en el cuadrado central. Desde que aparece el nuevo cuadrado hasta que la posición deja de estar en el cuadrado central es el primer tiempo y desde ese momento

hasta que la posición ocular se fija en el nuevo cuadrado, el segundo tiempo. El primero abarca de media un 90% del tiempo total.

Como se ha indicado al principio de esta sección, los detalles del test de medición principal, el protractor, aparecen detallados en la sección anterior “Diseño del test de entrenamiento” al ser un test que no tiene implementación técnica, más allá del protocolo a seguir.

4.3 PROBLEMAS ENCONTRADOS

La instalación y detección en el ordenador del modelo Pro Nano supuso una dificultad inicial debido a que el programa recomendado de forma oficial en la web de Tobii (Tobii Eye Tracking) no era capaz de detectar el instrumento. Se acudió a otro programa oficial de Tobii, Eye Tracker Manager, recomendado en foros para el modelo con el que se trabaja que sí funcionó. Este programa permite calibrar el instrumento y configurarlo respecto a las dimensiones de la pantalla en la que se está utilizando.

También se ha hecho frente a una frecuencia del Eye Tracker inferior a la necesaria para el entrenamiento desarrollado. Como se ha comentado con anterioridad, el Eye Tracker llega suficientemente tarde a los movimientos oculares rápidos como para permitir que el usuario identifique algún dígito con su visión focal antes de que los oculte la circunferencia negra. Para solucionarlo, cuando se realiza un movimiento ocular rápido desaparecen todas las letras hasta que el sujeto fija su vista en punto y reaparecen, evitando así que se inspeccione la sopa con la visión focal.

Se ha encontrado otra dificultad en la precisión del Eye Tracker al marcar la posición ocular en la pantalla. Mirando a las esquinas, el Eye Tracker marca la posición ocular hasta un centímetro lejos de donde debería. Este error de precisión, que se acentúa con algunos sujetos, es máximo en las esquinas y disminuye conforme se acerca al centro de la pantalla. Supone un problema a tratar en el test de medición debido a que se requiere una precisión alta. Para solucionarlo se decidió adoptar dos medidas. Por un lado, se rodean los cuadrados con un área un poco más grande a la dibujada que, a nivel de posición ocular, se considera parte del cuadrado. De esta manera si el sujeto posiciona la vista 2 mm más a la izquierda del cuadrado, se entiende que se trata de un error de precisión del instrumento y se da por bueno. Por otro lado, se realiza una recalibración antes de comenzar la medición en la que el sujeto

mira a cada posición y clica espacio para confirmar. Así, si la medida de la posición ocular no corresponde con las coordenadas del cuadrado en alguno de los cuatro, se utiliza la posición ocular como referencia en ese cuadrado para realizar la medición.

5 ESTUDIO PILOTO

Para comprobar y cuantificar la eficacia del entrenamiento se procede a realizar un estudio piloto con sujetos reales que midan su capacidad visual periférica antes y después del entrenamiento para comprobar con diferentes medidas cuánto y cómo se mejora, en caso de que se mejore. Esta fase del trabajo coincide con el periodo del coronavirus, en concreto con la fase más restrictiva del aislamiento. Por suerte el autor de este trabajo convive con 4 compañeros de piso que han aceptado participar en el estudio.

En este último capítulo se detalla todo el proceso del estudio piloto, desde el diseño del protocolo de entrenamiento y medición hasta el análisis y conclusión de los resultados obtenidos.

5.1 DISEÑO DEL PROTOCOLO DE ENTRENAMIENTO Y MEDICIÓN

El protocolo de entrenamiento abarca algunos de los aspectos más determinantes de cara a la validez del estudio y el rigor de las posibles conclusiones extraídas de los resultados. Para tomar estas decisiones se recomienda buscar un estándar a seguir con el objetivo de facilitar la comparación de resultados y la aceptación por parte de la comunidad, que teóricamente ya aceptaba el estándar seguido.

En este trabajo se ha utilizado como referencia para determinar la duración y frecuencia de los entrenamientos el estudio de SuperVision (Ramirez Gomez & Gellersen, 2019). En éste, el entrenamiento incluye 3 juegos diferentes y se entrena 5 minutos a cada uno. Como este trabajo consta únicamente de un juego, se ha decido realizar 4 rondas de 2,5 minutos (total 10 minutos) en lugar de 6 (que suman el mismo tiempo total de entrenamiento que SuperVision) por la sensación de fatiga que puede causar un periodo de 15 minutos jugando al mismo juego. Este cansancio también se ve incrementado por el hecho de que el juego está basado en una acción antinatural; fijar la atención en un punto de la visión periférica sin poder mirarlo directamente.

En el estudio de referencia, citado en la página anterior, los sujetos ya experimentan una mejora visible con una semana de entrenamiento (de lunes a viernes). Continúan una semana más y los resultados mejoran con respecto a la primera, pero con una semana ya se obtienen

resultados positivos. Además, como los sujetos que realizan este estudio son extranjeros y vuelven a sus países pronto, se ha fijado el periodo de entrenamiento de una semana, de lunes a viernes.

En cuanto al protocolo de medición del test protractor, se toman 20 medidas entre el ojo derecho y el izquierdo. Estas medidas incluyen el color y el elemento que aparecen en la tarjeta con la que el investigador recorre el perímetro del instrumento. Es importante que el protractor se mantenga pegado a la nariz, justo a la altura debajo de los ojos. Aquellos usuarios con gafas deberán quitárselas para realizar el test porque el marco de la gafa oculta un rango de ángulos del instrumento que no quedan visibles para el sujeto. Debido a que se trata de una medición PRE y POST del entrenamiento es importante garantizar en la medida de lo posible las mismas condiciones contextuales, como la luz en el entorno o el nivel de cansancio y estado de ánimo del sujeto.

En el test secundario de la motilidad ocular se registran de igual manera 20 tomas. Tras realizar algunas pruebas con este test y comprobar el número de *outliers* que aparecen de media se ha considerado que calculando la media y mediana con 20 tomas se consiguen unas medidas representativas. Estos *outliers* pueden ocurrir porque el Eye Tracker detecte con poca precisión la vista en una toma (debido por ejemplo a que el usuario estornude) o porque el sujeto cometa un error grave que haga que una medida se aleje enormemente de lo habitual.

Entre los 4 sujetos que realizan el entrenamiento se incluye un sujeto placebo que realiza una sopa de letras normal en la que no hay ninguna restricción pudiendo usar la visión focal. El sujeto desconoce que es placebo y cómo a nivel teórico es una tarea general que no entrena la visión periférica, permite contrastar los resultados con los de una persona que cree estar entrenando, pero nada más allá de lo que podría hacer un día corriente. Someter a este sujeto al mismo nivel de dificultad que el resto, pero usando la visión focal (no periférica), da resultado a una sopa demasiado fácil que puede eliminar la sensación de entrenamiento “duro” por lo que se ha incrementado la dificultad de la sopa de letras (más letras y más pequeñas). El resto de los sujetos entrena con el mismo nivel medio de dificultad.

De esta manera la línea cronológica del estudio consiste en someter a los sujetos a los dos test de medición el día 1. Durante 5 días entrenan a razón de 10 minutos cada día, en los días 2, 3,

4, 5 y 6. Por último, el día 7 se realizan de nuevo las mediciones de los dos tests obteniendo así los resultados.

5.2 EJECUCIÓN DEL ESTUDIO PILOTO

Los sujetos que se someten al estudio han confirmado su permiso para mostrar en este trabajo sus datos básicos de nombre, edad, procedencia y problemas oculares en caso de haberlos. Son las siguientes 4 personas con edades comprendidas entre los 21 y 29 años:

- Pedro, 21 años, procedente de España, con un quiste de grasa cerca del glóbulo ocular pero que no condiciona su visión.
- Kacper, 23 años, procedente de Polonia, sin problemas oculares.
- Misha, 26 años, procedente de la República Checa, sin problemas oculares
- Juan, 29 años, procedente de Argentina, con gafas por miopía. Es el sujeto placebo y lo desconoce.

Al comienzo del estudio se desconocía la existencia de instrumentos protractors comerciales por lo que, del mismo modo que se realiza en SuperVision y otros estudios, se construyó un protractor casero con los ángulos marcados (Figura 9).

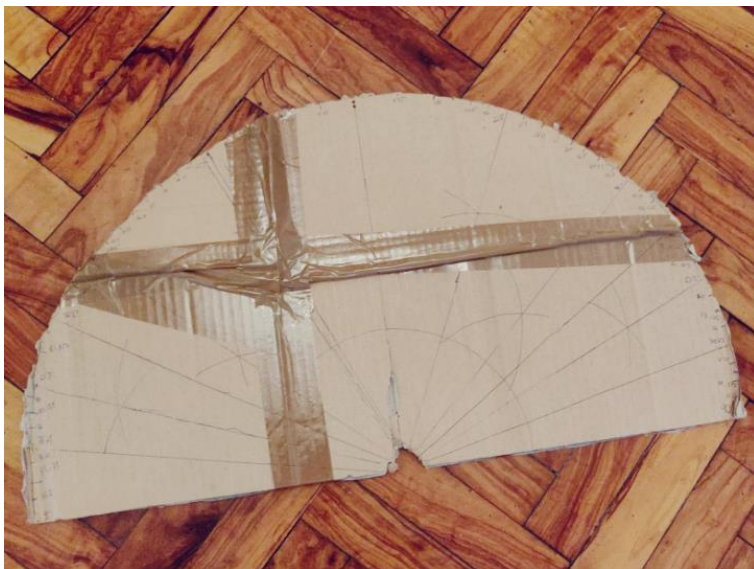


Figura 9: protractor casero creado para medir los ángulos límite de la visión periférica en este trabajo.

Entre los aspectos a destacar del entrenamiento cabe mencionar que el sujeto Pedro se ponía muy nervioso durante el juego al tener que reprimir un instinto natural como es mirar a dónde diriges tu atención. Además, era el propio Pedro quien utilizó la estrategia de clicar varias

veces muy rápido en la zona donde creía ver la letra buscada. Este comportamiento (que únicamente Pedro realizó) no estaba previsto técnicamente por lo que al clicar varias veces sobre la letra correcta se sumaban varios puntos en lugar de sólo uno. Este detalle se corrigió a nivel técnico entre el día 2 y 3, y se invalidó la puntuación obtenida por Pedro los dos primeros días.

La experiencia de Pedro contrasta con la de Misha y Kacper quienes enfocaron la restricción como un reto y disfrutaron los entrenamientos llegando incluso a competir entre ellos de forma natural.

Se pretendió que la tarea de entrenamiento se llevase a cabo sobre la misma hora, aunque en ocasiones se atrasaba o adelantaba debido a ocupaciones personales de los sujetos. Todos los sujetos pudieron completar los 5 días de entrenamiento con la excepción del sujeto placebo, quién entrenó un día menos por motivos personales.

A la hora de realizar el test del protractor es fundamental que la velocidad con la que el investigador pasa la tarjeta por el perímetro de la semicircunferencia sea muy reducida y constante. En las pruebas previas al estudio se comprobó que una velocidad ligeramente superior disminuye considerablemente el ángulo con el que el sujeto es capaz de distinguir el estímulo.

De esta manera se ha llevado a cabo el estudio con los 4 sujetos y se han obtenido los resultados que se muestran en el siguiente apartado.

5.3 RESULTADOS

El primer resultado que se debe reflejar es el del propio entrenamiento, es decir, el número de ocurrencias que los sujetos son capaces de encontrar los diferentes días conforme transcurre el periodo de entrenamiento. Esta medida es sumamente importante ya que refleja si la tarea tiene entrenamiento y los sujetos obtienen mejores resultados conforme más practican. Si los resultados son similares a lo largo de los días y no se aprecia mejoría entonces difícilmente habrá transferencia de progreso a la visión periférica.

En la gráfica 1 y 2 que se muestran a continuación el eje vertical corresponde al número de ocurrencias encontradas de media en cada ronda del entrenamiento mientras que el eje

horizontal refleja los días de entrenamiento. La gráfica 1 muestra el progreso del entrenamiento de los sujetos activos y la 2 del placebo.

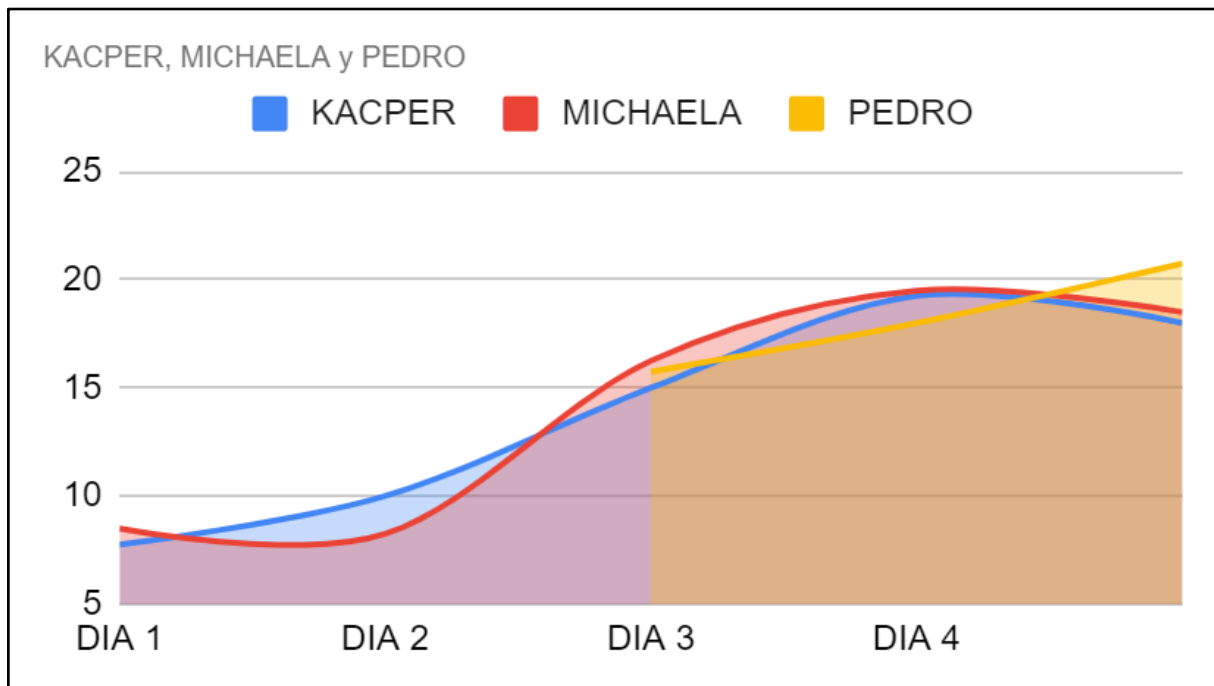


Figura 10: Resultados del entrenamiento de los sujetos activos cada día. Se mide en ocurrencias encontradas.

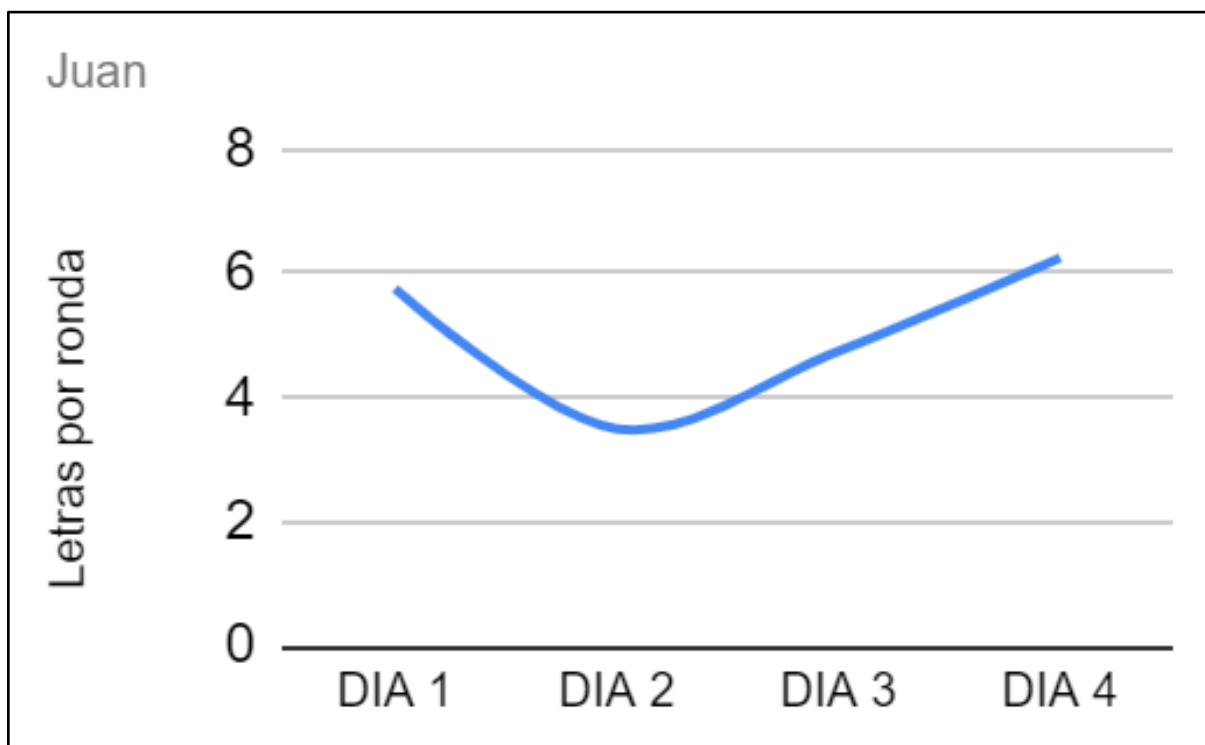


Figura 11: Resultados del entrenamiento del sujeto placebo cada día. Se mide en ocurrencias encontradas.

En la gráfica 10 el sujeto Pedro comienza en el día 3 debido a que se han considerado no válidas las mediciones de los días 1 y 2 porque, como se explica en la sección “ejecución del estudio piloto”, se contabilizó varias veces el hallazgo de algunas letras en el caso de Pedro. Se aprecia que los sujetos activos muestran una clara mejora en la tarea mientras que en el caso del placebo es más ligera, incluso dudosa. Todo esto se analiza en el siguiente apartado, análisis de los resultados. Los resultados del test secundario de la motilidad ocular se presentan a continuación en la gráfica 12, mostrando conjuntamente las medidas que cada sujeto obtuvo en él, antes y después del entrenamiento.

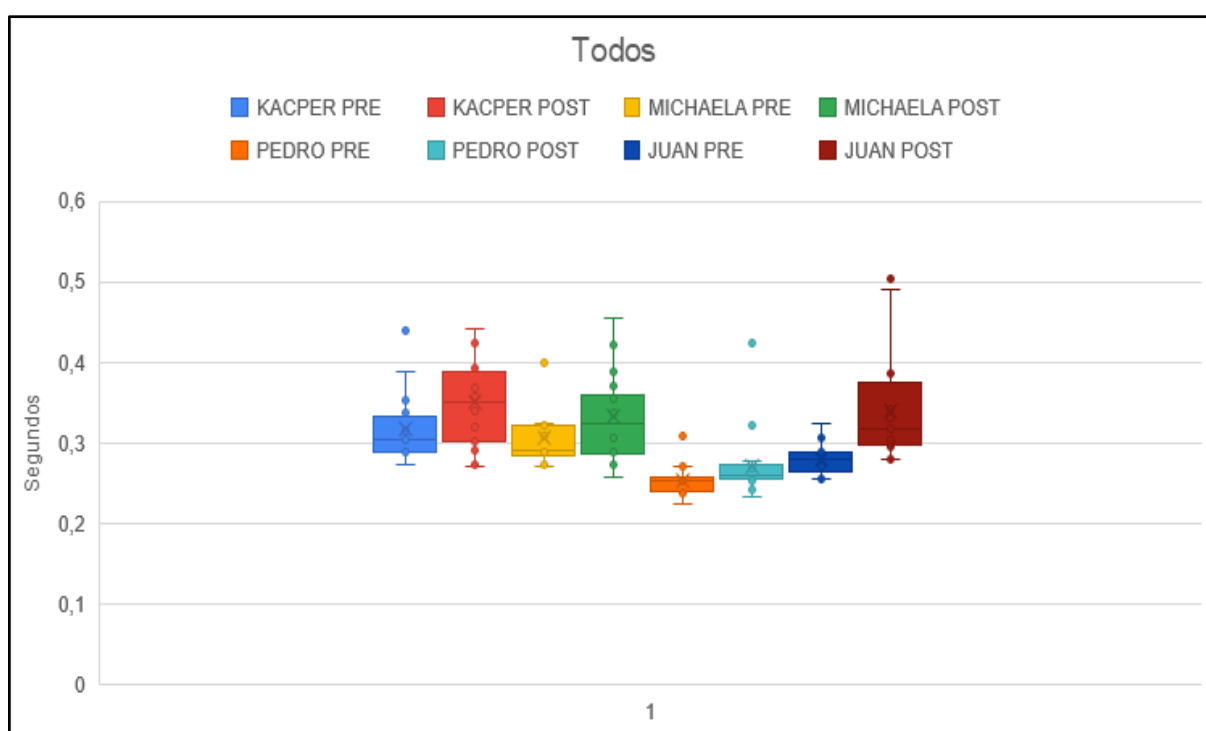


Figura 12: Resultados del test de la motilidad ocular de cada sujeto, antes y después del entrenamiento. Se mide en tiempo de reacción, expresado en segundos.

Hay que tener en cuenta que este test mide el tiempo de reacción, por lo que una mejora se produce cuando en el test de medición post entrenamiento se obtiene un tiempo menor por lo que en este caso los cuatro sujetos empeoran. En el test principal del protractor se separan los dos estímulos que el sujeto debe identificar, el color y la figura. Esta distinción se realiza para poder observar los resultados con mayor claridad. Como es esperable los ángulos a los que el sujeto es capaz de identificar el color son mayores que con la figura. Además, siendo ambos estímulos medidas de la visión periférica, cada uno trabaja ámbitos diferentes. Con el color se mide la distinción del pigmento en la periferia y con la figura la distinción e identificación de la forma. A continuación, se presentan en la gráfica 13 y 14 los resultados de

los sujetos en el test protractor antes y después del entrenamiento con el color y la figura respectivamente.

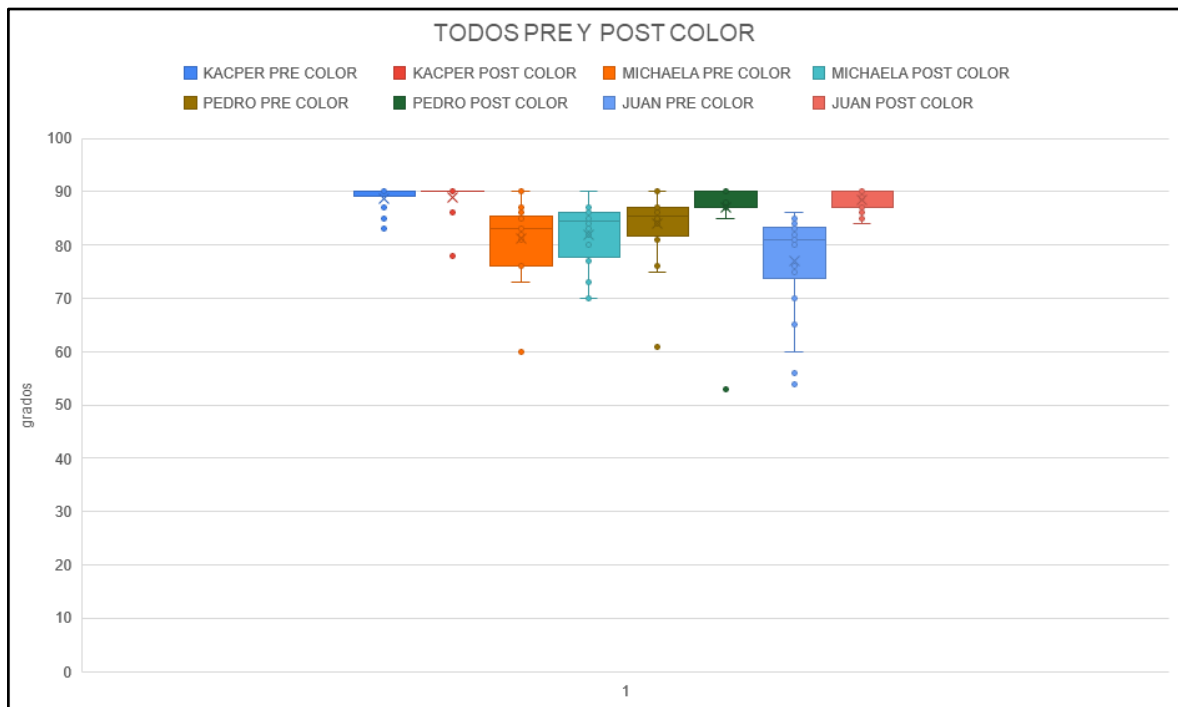


Figura 13: Resultados del test del protractor para cada sujeto, en específico del estímulo color. Se mide en grados.

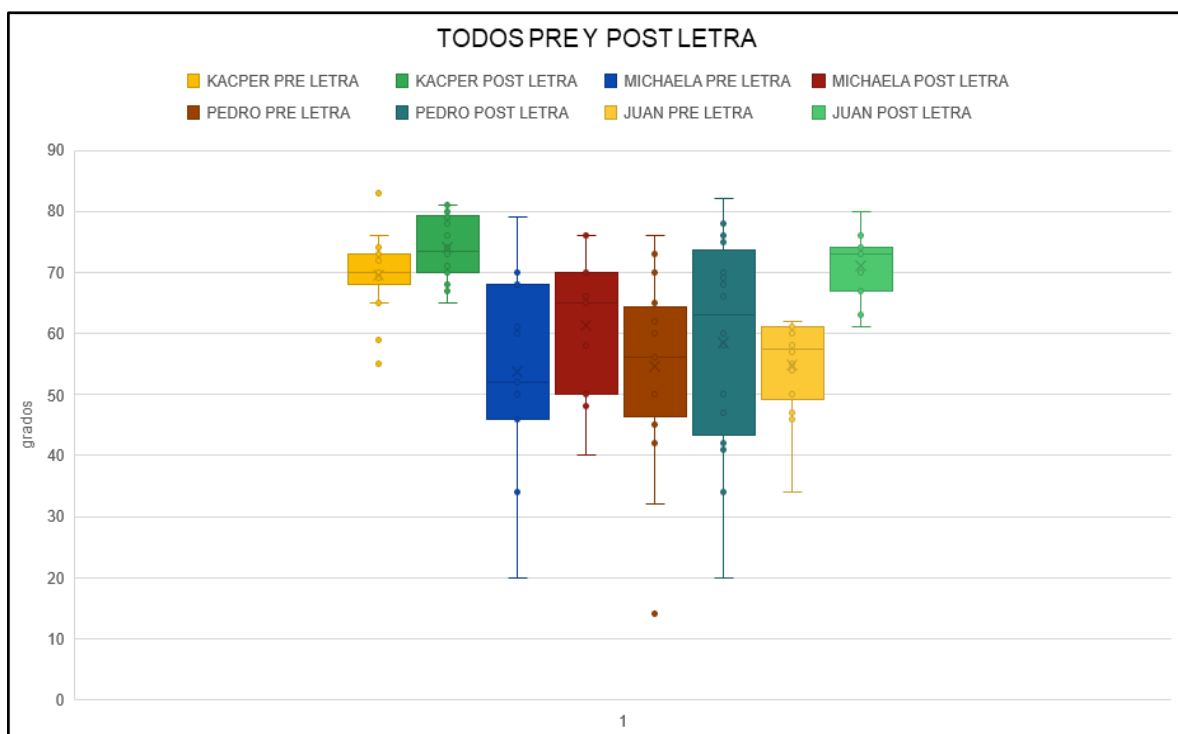


Figura 14: Resultados del test del protractor para cada sujeto, en específico del estímulo letra. Se mide en grados.

Se puede apreciar que la variabilidad de los resultados obtenidos con la letra es mucho mayor que con los colores. También se puede ver en ambas gráficas una ligera mejora en todos los sujetos, especialmente destacable en el caso del sujeto placebo. Todo esto se analiza en el siguiente punto.

Se refleja en la figura 15 la mejora cuantificada de cada sujeto, expresada en porcentaje y en la unidad de medida pertinente. Se muestran estos datos para el test protractor (con la forma y el color por separado) y para el test de motilidad ocular.

	PROTRACTOR				MOT. OCULAR (%)
	FORMA		COLOR		
	GRADOS	%	GRADOS	%	
KACPER	5,06°	7,30%	1,13°	1,27%	-10,21%
MISHA	4,50°	9,15%	0,44°	0,54%	-6,60%
PEDRO	5,30°	10%	3,15°	3,75%	-3,70%
JUAN	15,68°	28,10%	11,55°	15%	-15%

Figura 15: Resultados numéricos de mejora (PRE-POST) de cada sujeto en los dos test de medición realizados, motilidad ocular y protractor (estímulo forma y color).

En comparación con el estudio de referencia SuperVision, se obtiene un progreso similar. En su caso, tras dos semanas de entrenamiento, mejoran de media 7 grados en la forma y 2,50 en el color. Es importante tener en cuenta que en este estudio piloto sólo se ha entrenado durante una semana. En el anexo 7, resultados del estudio piloto en detalle, se muestran más datos del estudio que pueden ayudar al lector a entender el avance de los sujetos.

6 ANÁLISIS DE RESULTADOS

En primer lugar, como se ve en las gráficas 1 y 2 del anterior apartado los sujetos obtienen mejores resultados en la tarea conforme avanzan los días del entrenamiento. El sujeto placebo muestra una mejora a tramos desde el día 2, no tan evidente como la del resto de sujetos. La explicación de este hecho se puede atribuir a que, al tratarse de una tarea corriente y no nueva para el usuario placebo, el margen de mejora es mucho más reducido que en la tarea activa, totalmente nueva. Además, esta última incluye una acción antinatural como es desligar el centro de tu visión (focal) del centro de tu atención, lo que proporciona un fuerte impacto en los resultados del principio, que van mejorando conforme el sujeto activo aprende a controlar esta acción.

Con relación al test secundario de la motilidad ocular, todos los sujetos obtienen peores resultados. Inicialmente, antes de la ejecución del estudio piloto, se planteó la posibilidad de que el entrenamiento y la consecuente mejora potencial de la visión periférica tuvieran una incidencia positiva en la motilidad ocular reduciendo los tiempos debido a que permitiría percibir el nuevo cuadrado antes. Los tests han demostrado lo contrario, lo cual parece justificable por los siguientes motivos.

En el entrenamiento se penalizan los movimientos sacádicos de largo recorrido ocultando todas las letras cuando se realiza uno hasta que se fija la vista en un punto. Esto se realiza para dar tiempo a la circunferencia del Eye Tracker a llegar a la nueva posición y ocultar las letras allí, como se explica en el apartado *"implementación del entrenamiento"*. Esta característica del juego fomenta el rastreo de la sopa con movimientos oculares más cortos, lo cual va en detrimento de los movimientos sacádicos largos, medidos en el test secundario.

Además, la tarea de distinguir con la visión periférica los dígitos que hay alrededor se lleva a cabo con detenimiento y pausa, lo cual contrasta con la inmediatez con la que se debe realizar el movimiento en el test secundario, donde sólo es necesario ver un bulto (cuadrado) sin una distinción precisa. Todo ello va también en perjuicio del test, lo que provoca que los sujetos obtengan peores resultados después del entrenamiento ya que están acostumbrados a realizar movimientos oculares cortos, con detenimiento y precisión.

Por último, los resultados del test principal muestran que los sujetos mejoran, consiguiendo distinguir tanto la figura como el color a partir de ángulos más grandes que antes del entrenamiento.

A través de la tarea los sujetos han aumentado su precisión periférica y esto se ha traducido en mejores resultados en el test protractor. Los sujetos han entrenado dirigir y mantener su atención en la periferia lo cual les permite estar más cómodos con la tarea y obtener mejor información durante la medición.

El sujeto placebo muestra una mejoría mayor que el resto lo cual es una información muy importante debido a que puede representar que la mejora de los otros sujetos es placebo. El hecho de pensar que entrenan la visión periférica les puede haber dado una motivación mental que, junto con el aprendizaje de conocer el test en la primera ocasión, haya sido responsable de esta mejora. De todos modos, no podemos afirmar esto ya que, como se explica más adelante en la conclusión, un test con una muestra tan pequeña (solo 3 activos y 1 placebo) tiene estas limitaciones. Además, si nos fijamos en las gráficas 4 y 5 el sujeto placebo tiene los peores resultados en las mediciones PRE, tanto en color como en letra, por lo que le resulta más fácil mejorar que al resto.

En el último apartado del trabajo se explican las limitaciones de este estudio, así como las recomendaciones a Bitbrain para proseguir con la investigación.

7 CONCLUSIONES

7.1 PROYECTO

Los datos extraídos del estudio son esperanzadores en cuanto a que existe entrenamiento en la tarea y los sujetos consiguen mejores los resultados en el test principal del protractor. La única información desconcertante es la que afirma que el sujeto placebo mejora más que el resto. Esta información no encaja con la hipótesis realizada al principio y se puede atribuir a diversas causas; el hecho de que el sujeto placebo Juan represente un *outlier* excepcional, un error en el protocolo de medición de los sujetos activos y/o placebo que proporcione datos erróneos o poco precisos, que la sopa de letras sin ocultar la visión focal suponga un entrenamiento mejor para la visión periférica que ocultándola (poco probable), etc.

Para salir de dudas, sería necesario realizar el estudio con más sujetos activos y placebos. Se recomienda un ratio de 20 activos y 5 placebos, siguiendo las directrices marcadas por otros estudios similares. También sería positivo adquirir un protractor industrial para aumentar la precisión, contar con 2 investigadores realizando las mediciones para asegurar que la posición de la cabeza con respecto al protractor varía lo mínimo posible e incluir sujetos inactivos que no realicen ninguna tarea de entrenamiento, solamente los tests pre y post, para medir el aprendizaje en el propio test.

Como se ha comentado, debido a la situación excepcional del Covid-19, este estudio ha contado con limitaciones como pueden ser una muestra de estudio reducida, dificultad de realizar el entrenamiento exactamente a la misma hora para garantizar las mismas condiciones de luz y un solo investigador para llevar a cabo los tests de medición. Es por ello por lo que se recomienda a Bitbrain seguir las directrices indicadas en el anterior párrafo para proseguir con el estudio.

El objetivo fijado al principio del trabajo se considera más que logrado. Se pretendía encontrar e implementar una técnica de entrenamiento de una característica visual muy utilizada por la población general. El camino hacia este fin ha generado muchas otras tareas adyacentes con una gran carga de trabajo que se han cumplido con éxito. Ejemplo de ellas son el estudio

previo del arte, el diseño e implementación de un test de medición, la realización de un estudio piloto completo (protocolo, diseño, sujetos...), etc.

En la actualidad hay un camino marcado con toda la documentación recopilada y softwares desarrollados que permite ser optimista y que precisa de una continuación para confirmar que la técnica tiene unos resultados de transferencia reales.

7.2 REFLEXIÓN PERSONAL

Contacté con la empresa Bitbrain hace más de un año guiado por la pasión que tengo por la ciencia de la neurotecnología. En ese momento era pronto para trabajar allí, pero continué siguiéndolos en sus redes y noticias. El pasado mes de noviembre (2019) decidí hablar con ellos y comencé las prácticas extracurriculares hasta febrero. Como informáticos somos afortunados de tener muchas opciones remuneradas de prácticas, pero creo que debe primar el interés en la materia.

Después del periodo de prácticas, continué con el trabajo de fin de grado allí, desarrollando lo que se expone en este trabajo. En medio del mismo, como es conocido, sucedió la pandemia del Covid19 que no me impidió continuar trabajando con el ordenador y con los compañeros de piso como sujetos del estudio.

He conocido a personal geniales con las que ha sido un verdadero placer trabajar como Pablo Urcola o Eduardo López a quienes reportaba los avances. Pablo ha sido con quién más contacto he tenido y me gustaría agradecer en este trabajo su ayuda, dedicación y trato.

Personalmente he tratado de dar el máximo desde el primer día, trabajando con detalle cada presentación en las reuniones intermedias e intentando facilitar la tarea de supervisión a los compañeros con resúmenes de las reuniones y trabajando con autonomía.

Estoy contento con la experiencia ya que ha supuesto un reto, especialmente la parte de investigación en un terreno poco o nada conocido, como son las habilidades oculares. Hay algunos aspectos que me gustaría comentar como crítica constructiva a esta experiencia y que se reflejan a continuación.

He sentido el desarrollo de mi trabajo poco integrado en la dinámica de la empresa debido a que no ha requerido otro contacto de trabajo con un compañero más allá de la revisión de

mis supervisores. Por otra parte, me hubiera gustado obtener una visión global con mayor detalle de la empresa ya que lo único que he conocido del trabajo de mis compañeros han sido los 10 minutos de presentación del primer día (noviembre), y lo que les preguntaba yo en el día a día. Por último, he echado de menos un contacto mayor con la gente que dirige la empresa. Me considero una persona muy curiosa y me hubiera encantado tener más trato con ellos para compartir mis inquietudes y dudas. El hecho de ser una startup en crecimiento con pocos trabajadores fue una de las cosas que más me motivó y pensé que sería más sencillo hablar con ellos y conocer la empresa en general. Entiendo que la cantidad de trabajo y de gestión es muy grande, pero creo que es algo que no se puede sacrificar.

Por lo demás, estoy satisfecho con el desarrollo del trabajo y me gustaría agradecer a Bitbrain la oportunidad que me han dado. Creo que es una empresa con mucho potencial y talento que cuenta con gente encantadora en su plantilla.

8 BIBLIOGRAFÍA

1. Alberto Domingo Ingui Volpe. (2013). *Instructor de Tiro - Alberto Domingo Ingui Volpe, JavierGutiérrez* - Google Libros. https://books.google.es/books?id=JeHEDwAAQBAJ&pg=PT114&lpg=PT114&dq=vision+periferica+%225%22+grados&source=bl&ots=bVpBOICBh_&sig=ACfU3U2nHqCKDdUFI1KZeTzRd5w5gn0lQ&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwjeyaG29-LpAhUZ5uAKHR3RB1cQ6AEwDHoECAoQAQ#v=onepage&q=vision+periferica+%225%22+grados&f=false
2. Catalan Association of Optometry. (n.d.). *Visual abilities*. Retrieved June 24, 2020, from <http://www.acotv.org/en/visual-area/156-visual-abilities.html>
3. Clinic, M. (2017). *Convergence insufficiency*.
4. Crawford, J. D., Medendorp, W. P., & Marotta, J. J. (2004). Spatial transformations for eye-hand coordination. In *Journal of Neurophysiology* (Vol. 92, Issue 1, pp. 10–19). American Physiological Society. <https://doi.org/10.1152/jn.00117.2004>
5. Durrie, D., & McMinn, P. S. (2007). Computer-based primary visual cortex training for treatment of low myopia and early presbyopia. *Transactions of the American Ophthalmological Society*, 105, 132–138.
6. Faubert, J., & Sidebottom, L. (2012). Perceptual-Cognitive Training of Athletes. In 85 *Journal of Clinical Sport Psychology* (Vol. 6).
7. García-Castellón. (2012). *Funcionalidad visual y eficacia en los procesos lectores*. Universidad internacional de La Rioja.
8. *Getting Started - Tobii Developer Zone*. (n.d.). Retrieved June 25, 2020, from <https://developer.tobii.com/pc-gaming/unity-sdk/getting-started/>
9. Gimmon, Y., & Schubert, M. C. (2019). Vestibular testing-rotary chair and dynamic visual acuity tests. *Advances in Oto-Rhino-Laryngology*, 82, 39–46. <https://doi.org/10.1159/000490270>
10. Horie, H., Kenji Yuda, Hiroshi Uozato, Naoto Hara, Wolfram Tetzlaff, Satoru Hisahara, Hiroko Horie, & Satomi Nakajima. (2010). Training regimen involving cyclic induction of pupil constriction during far accommodation improves visual acuity in myopic children. *Clinical Ophthalmology*, 4, 251. <https://doi.org/10.2147/opth.s9249>
11. Ivanov, I. V., Mackeben, M., Vollmer, A., Martus, P., Nguyen, N. X., & Trauzettel-

- Klosinski, S. (2016). Eye movement training and suggested gaze strategies in tunnel vision - A randomized and controlled pilot study. *PLoS ONE*, 11(6). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0157825>
12. James Hamblin. (2014). *Training Your Brain to Improve Your Vision - The Atlantic*. <https://www.theatlantic.com/health/archive/2014/02/training-your-brain-to-improve-your-vision/283933/>
13. Janet L. Starkes, K. A. E. (2003). *Expert Performance in Sports: Advances in Research on Sport Expertise*.
14. Journal of Sports Medicine. (2012). *Effect of Accommodation Training on Visual Function of Visual Inspection Workers and Middle-Aged People*.
15. Levi, D. M., & Carney, T. (2009). Crowding in Peripheral Vision: Why Bigger Is Better. *Current Biology*, 19(23), 1988–1993. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2009.09.056>
16. Muiños-Durán, MónicaVidal-López, JoaquínRodán-González, AntonioRifá-Giribet, MontserratCodina-Fossas, MartaGarcía-Montero, MaríaGimeno-Galindo, PatriciaJavaloyes-Moreno, B. (2009). *VISUAL-PERCEPTUAL SKILLS*.
17. O'Regan, J. K., & Noë, A. (2001). A sensorimotor account of vision and visual consciousness. *Behavioral and Brain Sciences*, 24(5), 939–973. <https://doi.org/10.1017/S0140525X01000115>
18. Palazzo, J. A. (2017). Perfeccionando la medición de la agudeza visual : Snellen tenía razón. *Servicio de Oftalmología, Hospital Italiano, Buenos Aires*, 46–51. <http://oftalmologos.org.ar/oce/files/original/ae8f10446223d9820c851fec59461905.pdf>
19. Purves, D., Augustine, G. J., Fitzpatrick, D., Katz, L. C., LaMantia, A.-S., McNamara, J. O., & Williams, S. M. (2001). *Types of Eye Movements and Their Functions*. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK10991/>
20. Ramirez Gomez, A., & Gellersen, H. (2019). *SuperVision: Playing with Gaze Aversion and Peripheral Vision*. 12. <https://doi.org/10.1145/3290605.3300703>
21. Rutkowski, L., Tadeusiewicz, R., Zadeh, L.A., Zurada, J. M. (2008). *Artificial Intelligence and Soft Computing*.
22. Science Buddies. (2016). *Put Your Peripheral Vision to the Test - Scientific American*. <https://www.scientificamerican.com/article/put-your-peripheral-vision-to-the-test/>

23. Visser, M., Ufs, B. O. T., Wits, O. T., Cronjé, M., Ufs, B. O. T., Scholtz, M., & Ufs, B. O. T. (2012). The DTVP-2 visual closure subtest: A closer look. *South African Journal of Occupational Therapy*, 42(2), 21–25.
24. Wyczesany, M., Ligeza, T. S., Tymorek, A., & Adamczyk, A. (2018). The influence of mood on visual perception of neutral material. *Acta Neurobiologiae Experimentalis*, 78(2), 163–172. <https://doi.org/10.21307/ane-2018-015>

Anexo 1 CARACTERÍSTICAS VISUALES EN DETALLE

Se presentan a continuación las características visuales con una breve explicación de cada una. Para presentarlas se dividen en dos grupos; las puramente oculares y las relacionadas con el cerebro.

CARACTERÍSTICAS VISUALES OCULARES:

RESOLUCIÓN

- **CONVERGENCIA:** movimiento simultáneo de ambos ojos en direcciones opuestas para obtener o mantener una sola visión binocular.
- **ACOMODACIÓN:** proceso mediante el cual las lentes dentro del ojo se inclinan con cierto ángulo para converger los rayos en la fovea.
- **CONSTRICCIÓN DE LA PUPILA:** cambio de tamaño de la pupila que permite incrementar la profundidad del campo y maximizar el detalle de la imagen que se forma en la retina.

MOTILIDAD OCULAR

- **MOVIMIENTOS SACÁDICOS:** movimientos rápidos y balísticos de los ojos que cambian bruscamente el punto de fijación. *Ejemplo:* sin mover la cabeza cambias la vista de la esquina superior izquierda del ordenador a la derecha. El ojo se mueve de una esquina a otra directamente, a diferencia de los movimientos de seguimiento.
- **MOVIMIENTOS DE SEGUIMIENTO:** movimientos lentos diseñados para mantener un estímulo en movimiento en la fovea. *Ejemplo:* sin mover la cabeza sigues con la vista un lápiz que mueves lentamente de izquierda a derecha con la mano.
- **FIJACIÓN:** mantener la vista inmóvil en un punto sin que la posición de los ojos varíe. *Ejemplo:* cuando miras a este punto → .

AGUDEZA VISUAL

- **AGUDEZA VISUAL ESTÁTICA:** Permite ver con nitidez objetos o símbolos estáticos a todas las distancias. *Ejemplo:* → Distinguir las letras de esta frase.

- **AGUDEZA VISUAL DINÁMICA:** Permite ver con nitidez objetos cuando existe movimiento relativo entre el objeto y la persona que lo mira. Ejemplo: distinguir las letras de esta frase mientras zarandeas tu cabeza de izquierda a derecha.

VISIÓN BINOCULAR

También se denomina **ESTEREOPSIS** y es la capacidad del cerebro de recomponer una imagen tridimensional a partir de dos imágenes ligeramente diferentes del mundo físico proyectadas en la retina de cada ojo. Nos permite calcular profundidades, siendo la responsable de que los humanos tengamos visión 3D.

Una de sus medidas más usadas es el NPC (Nearest Point of Convergence). La distancia mínima a partir de la cual somos capaces de formar una imagen nítida con los dos ojos.

ENTORNO FÍSICO

El entorno físico engloba conceptos como la sensibilidad al contraste, la visibilidad con luminosidad reducida y la reacción visual a cambios bruscos de las condiciones externas (como un deslumbramiento)

- **CONTRASTE:** Diferencia de intensidad de iluminación en la gama de blancos y negros o en la de colores de una imagen.

OTROS

- **FLEXIBILIDAD ACOMODATIVA:** Habilidad de cambiar rápidamente el enfoque de objetos situados a distintas distancias.
- **FLEXIBILIDAD DE FUSIÓN:** Habilidad de coordinar ambos ojos conjunta y óptimamente de un a otro objeto de interés.
- **MOVIMIENTOS VESTÍBULO-OCULARES:** Estabiliza los ojos con respecto al mundo exterior, compensando por ejemplo los movimientos de cabeza. Genera una rotación del ojo con una amplitud igual y opuesta a la dirección del movimiento de la cabeza.
- **VISIÓN PERIFÉRICA:** visión que ocurre fuera del punto de fijación, es decir, lejos del centro de la mirada, en la periferia.

CARACTERÍSTICAS VISUALES RELACIONADAS CON EL CEREBRO

ANÁLISIS VISUAL

- **DISTINCIÓN DE COLOR, FORMA Y DEL FONDO:** Autodescriptivas
- **CIERRE VISUAL:** Habilidad de reconocer un objeto aun cuando no está parcialmente visible.
- **MEMORIA VISUAL:** Capacidad de recordar con buen detalle imágenes visuales.

PERCEPCIÓN VISUAL

- **RAPIDEZ DE RECONOCIMIENTO VISUAL:** Veámoslo directamente con un ejemplo. ¿Cuánto tardas desde que tus ojos recogen la información visual de una esfera que refleja luces rojas con un rabito arriba que refleja luz verde hasta que tu cerebro lo identifica como un tomate? También aplicable a reconocer jugadas ensayadas en una situación real de partido.
- **DETECTAR INFORMACIÓN MÍNIMA:** Habilidad para seleccionar los estímulos visuales a analizar de entre muchos a la hora de tomar una decisión en poco tiempo. Ejemplo: jugada de partido: muchos jugadores moviéndose, el árbitro, la pelota, la portería. Otro ejemplo: tráfico en el centro de la ciudad con peatones, ciclistas, semáforos...
- **AUTOMATIZAR PERCEPCIÓN VISUAL:** Capacidad de reducir la carga cognitiva de la tarea visual para liberar recursos y poder realizar otras tareas simultáneamente. Ejemplo: activar un botón al divisar un rectángulo en la pantalla, mientras haces sumas.

OTROS

- **INTEGRACIÓN AUDIO-VISUAL:** Capacidad de emparejar el estímulo visual con el auditivo.
- **HABILIDAD ESPACIO-VISUAL:** Capacidad de representar mentalmente objetos en 3 dimensiones.
- **COORDINACIÓN OJO-MANO:** habilidad que nos permite realizar con precisión actividades en las que utilizamos simultáneamente los ojos y las manos.

Anexo 2 TÉCNICAS DE ENTRENAMIENTO Y MEDICIÓN DE LAS HABILIDADES VISUALES

En este documento se revisan algunas de las técnicas de entrenamiento y medición más utilizadas en la actualidad para las principales habilidades visuales. Su investigación ha supuesto una base fundamental para llevar a cabo el diseño del entrenamiento y la medición en el trabajo.

CARACTERÍSTICAS VISUALES OCULARES

RESOLUCIÓN

- **CONVERGENCIA Y ACOMODACIÓN** (Clinic, 2017) (Journal of Sports Medicine, 2012)
 - **Entrenamiento:** una práctica complementaria a entrenamientos médicos con máquinas consiste en acercar un lápiz con una letra escrita sobre él lo máximo posible mientras se pueda identificar con unicidad la letra.
 - **Medición:** Se utiliza el NPC (*Near point of convergence* o punto cercano de convergencia). Se trata del punto más cercano en el cual tienes una única visión del estímulo en cuestión, es decir, no ves doble.
- **CONSTRICCIÓN DE LA PUPILA** (Horie et al., 2010)
 - **Entrenamiento:** realización de ejercicios en los que cambia la luminosidad.

MOVIMIENTOS SACÁDICOS, DE SEGUIMIENTO Y FIJACIÓN (Ivanov et al., 2016)

- **Entrenamiento:** En una pantalla aparecen barras laterales que se desplazan de izquierda a derecha. Estas barras pueden detenerse, desaparecer y aparecer en otro sitio, seguir su curso con constancia... De esta manera se entrenan los movimientos oculares, pero también los de seguimiento y fijación.
- **Medición:** Hay una variedad de ejercicios basados en un estímulo que desaparece y aparece en una posición aleatoria. Se mide el tiempo que tarda el sujeto en mover la vista de A a B. Una de las variantes más conocidas es el *go-no-go*. Por ejemplo, si el nuevo cuadrado es verde míralo y si es rojo no lo

mires. Esto, como es de esperar ralentiza el movimiento e incrementa la carga cognitiva del mismo.

AGUDEZA VISUAL ESTÁTICA Y DINÁMICA (James Hamblin, 2014)

- **Entrenamiento:** Se trabaja con la conocida forma del Gabor Patch que aparece en la figura 2 de la memoria del trabajo. En estos ejercicios se busca distinguir figuras gabor patch de otros elementos en contextos abarrotados de estímulos y con otras dificultades.
- **Medición:** Test de Snellen característicos de los oftalmólogos. Aparece en la figura 1 del trabajo. Para medir la agudeza visual dinámica se utiliza el mismo test mientras un profesional mueve la cabeza del sujeto de izquierda a derecha con una frecuencia de 2hz.

VISIÓN BINOCULAR O ESTEREOPSIS

- **Entrenamiento:** Es común trabajar con dos imágenes diferentes para cada hoja que buscan incrementar el trabajo del ojo con peores resultados.
- **Medición:** Se utilizan métodos similares a la acomodación y convergencia debido a que están estrechamente relacionadas. Un ejemplo es el NPC (punto cercano de convergencia).

OTROS

- **VISIÓN PERIFÉRICA (Ramirez Gomez & Gellersen, 2019)**
 - **Entrenamiento:** Juegos con Eye Tracker integrado en los cuales se evita que el sujeto mire al estímulo con la visión focal para que resuelva la tarea con la visión periférica.
 - **Medición:** Test del protractor. Semicircunferencia con los ángulos marcados alrededor de la cual un investigador pasa una tarjeta con un estímulo de forma y color sobre ella. Las tarjetas se pasan aleatoriamente por izquierda y derecha del sujeto.

CARACTERÍSTICAS VISUALES RELACIONADAS CON EL CEREBRO

ANÁLISIS VISUAL

- **DISTINCIÓN DE COLOR Y FORMA**

- **Entrenamiento:** Ejercicios en los que se presenta un conjunto de estímulos y el sujeto debe encontrar aquella referencia que se le ha presentado con anterioridad. Trabaja la memoria visual conjuntamente.

- **CIERRE VISUAL** (Muiños-Durán et al. , 2009)

- **Entrenamiento:** Se presentan objetos clásicos reconocidos por cualquier persona y una serie de opciones de lo que puede ser. Estos objetos están incompletos y conforme más avanzan las rondas menos partes tienen y más difícil es identificarlos.
- **Medición:** En cada una de las 20 rondas del juego, se presenta una imagen completa al sujeto y 3 trozos diferentes incompletos. El sujeto debe decir que trozo es el que forma parte de la imagen completa.

- **MEMORIA VISUAL** (Visser et al., 2012)

- **Entrenamiento:** Aparecen 15 círculos repartidos por la pantalla. De repente se colorean 7 de ellos, aguantan 1 segundo y luego todos vuelven a tener el mismo color. El sujeto debe clicar aquellos que se han coloreado.
- **Medición:** Se utiliza un test llamado “Shum visual learning test”. Presentan un carácter chino que debes identificar posteriormente entre varios. No es válido si sabes chino porque no corresponde exclusivamente a la memoria visual del momento.

PERCEPCIÓN VISUAL

- **RAPIDEZ DE RECONOCIMIENTO VISUAL**

- **Entrenamiento:** El famoso juego de “Spot it” que tiene versión online es un buen entrenamiento para la rapidez de reconocimiento visual. En este juego varios contrincantes compiten por ver quién es el primero en encontrar un objeto en una tarjeta donde aparecen varios.

- **DETECTAR INFORMACIÓN MÍNIMA**

- **Entrenamiento:** Destacan ejercicios utilizados en entrenamientos de deportes colectivos como fútbol o baloncesto. En estos ejercicios el jugador se enfrenta

a muchos estímulos como compañeros en movimiento, varias pelotas y un silbato que marca el comienzo de la acción. Es crucial que el jugador sepa escoger e identificar la información mínima para tomar una buena decisión en el menor tiempo posible.

- **AUTOMATIZAR PERCEPCIÓN VISUAL**

- **Entrenamiento:** se utilizan ejercicios donde el sujeto se somete a varias acciones simultáneas para automatizar el componente visual. Ejemplo, realizar sumas mientras se realiza un ejercicio visual. Las sumas, con su carga cognitiva, automatizan la percepción visual.
- **Medición:** Se suele utilizar una medida en la que se compara la puntuación en tiempo por ejemplo de los sujetos haciendo las dos tareas versus haciendo únicamente la percepción visual.

OTROS

- **COORDINACIÓN OJO-MANO** (Crawford et al., 2004)

- **Entrenamiento:** Acciones que requieren una importante sincronización entre el aspecto visual y el movimiento físico de la mano. Ejemplo de ello puede ser un juego donde si aparece un cuadrado rojo se debe pulsar la r y si es azul la x. Todo ello, en el menor tiempo posible.

Anexo 3 CARGA VISUAL EN ACTIVIDADES COMUNES

En cada actividad aparecen primero las características puramente oculares y después las relacionadas con el cerebro. Aparecen subrayadas aquellas características visuales predominantes en la actividad.

Las actividades son: conducir, leer, escribir, cocinar, ocio visual, tareas de limpieza y otros.

CONDUCIR

CARACTERÍSTICAS OCULARES:

Convergencia y acomodación: Ayudan a tener una visión nítida de la carrera y de los elementos que haya en ella

Movimientos sacádicos: Facilitan cambiar la vista de tu carril al de al lado de manera rápida, precisa y sin mover la cabeza.

Movimientos de seguimiento: Permite seguir con los ojos a un coche y anticipar un cambio de carril sin aviso.

Fijación: A la hora de analizar estímulos visuales en la carretera como las señales.

Agudeza visual estática: Para leer las señalizaciones que hay en la carretera (posición fija)

Agudeza visual dinámica: Para ver a los coches y peatones (posición en movimiento)

Visión binocular: Fundamental a la hora de calcular distancias con el coche de delante, de al lado, etc.

Visibilidad con luminosidad reducida: Por la noche en carreteras mal iluminadas

Reacción visual a un cambio brusco de las condiciones físicas (destello de luz): El 5% de accidentes en España se producen por deslumbramiento de noche (datos de la DGT).

Flexibilidad acomodativa: Permite adaptar el enfoque rápidamente a un coche que frena de repente, o un peatón que cruza inesperadamente.

Visión periférica: Para ampliar el ángulo de visión y tener mejor información sobre los coches en los carriles de los lados, la carretera, las señales...

CARACTERÍSTICAS RELACIONADAS CON EL CEREBRO

Distinción de forma: En primer lugar, para distinguir señales de obligación (redondas), recomendación (cuadradas), precaución (triangulares)... además de formas de siluetas de vehículos como tractores, coches, motos...

Distinción del objeto de su background (fondo): Reconocer un coche a lo lejos y no confundirlo con el paisaje (montes, campo, cielo) que hay detrás.

Visual closure (cierre visual): Con niebla se pierde visibilidad parcial de los elementos que hay en la carretera. Una buena habilidad de Visual Closure ayuda a reconocerlos con solo ver algunas partes del elemento.

Rapidez de reconocimiento visual: En un frenazo, puede ayudar a ver que no hay ningún coche en el carril de al lado y dar volantazo.

Detectar información mínima importante: El tráfico especialmente en ciudad tiene demasiados estímulos visuales para analizarlos todos; peatones, ciclistas, otros coches, policías, obras... Es fundamental centrarse en aquellos más relevantes para la decisión.

Automatizar percepción visual: La mayor parte de los accidentes en la carretera vienen de despistes causados por distracciones. Hablar por teléfono móvil (incluso manos libres), estar pensando en otras cosas. Fomentar la automatización de la percepción visual permite liberar recursos cognitivos a otras tareas, que inevitablemente los conductores van a hacer mientras van en coche.

Coordinación ojo-mano: Para girar a la izquierda después de comprobar que es viable, necesitas reducir la marcha, accionar el intermitente y girar el volante. La coordinación ojo-mano se plasma en cada acción en la conducción.

LEER

CARACTERÍSTICAS OCULARES

Convergencia y acomodación: No se puede leer correctamente si no se tiene una visión nítida de las palabras

Movimientos sacádicos: Al pasar de una palabra a otra leyendo, la mayor parte de la gente realiza un movimiento sacádico. Acelerar estos movimientos e incrementar su precisión ayudan a hacer una lectura más eficiente.

Movimientos de seguimiento: Algunas personas alternan los movimientos de saccades con los de pursuits (seguimiento) a la hora de leer. O si nos atascamos en una palabra larga es habitual recorrerla de principio a fin con un movimiento de seguimiento.

Fijación: En cada palabra, especialmente en las cortas, fijamos la vista en el centro de la palabra y leemos la palabra gracias a habilidades de visión periférica y visual closure al reconocer la palabra sin haber pasado por las formas de todos sus caracteres.

Agudeza visual estática: El ejercicio de los cuadros de Snellen en el médico pone a prueba nuestra agudeza visual estática, (al igual que la lectura, mediante el reconocimiento de caracteres)

Visión periférica: Utilizamos habilidades de visión periférica y visual closure para reconocer la palabra sin haber pasado por las formas de todos sus caracteres.

CARACTERÍSTICAS RELACIONADAS CON EL CEREBRO

Distinción de forma: Imprescindible para distinguir con rapidez una "d" de una "b" y poder identificar la palabra.

Visual closure: Utilizamos habilidades de visión periférica y visual closure para reconocer la palabra sin haber pasado por las formas de todos sus caracteres.

Visual memory: A la hora de analizar aquello que hemos retenido del texto, la memoria visual juega un importante papel.

Rapidez de reconocimiento visual: Desde que se identifica la palabra tomate, hasta que el cerebro incorpora lo que conoce sobre el concepto tomate al resto de la oración y le busca un sentido lógico, transcurre un tiempo que se puede disminuir entrenando esta facultad.

ESCRIBIR

CARACTERÍSTICAS OCULARES

Automatizar percepción visual: Entre otras cosas, de esto depende que seas capaz de escuchar música mientras lees.

Convergencia y acomodación: Fundamental ver con nitidez para escribir correctamente.

Movimientos sacádicos: Cuando escribes una palabra y pasas a la siguiente realizas un movimiento de saccades, si este no es preciso puede causar lentitud al escribir, así como una escritura irregular.

Movimientos de seguimiento: Las palabras largas se escriben acompañando la escritura con un movimiento de seguimiento.

Fijación: Especialmente en las palabras cortas nos fijamos donde la vamos a escribir y ahí la ponemos.

CARACTERÍSTICAS RELACIONADAS CON EL CEREBRO

Distinción de forma: Al igual que en la lectura, permite no mezclar letras "relativamente similares" como la 'b' y la 'd'.

Automatizar percepción visual: Si la tarea visual al escribir nos ocupa mucha capacidad cognitiva, nos será más complicado ir pensando en la siguiente línea.

Coordinación ojo-mano: Una de las habilidades más importantes en la escritura, si detectamos que nuestra "b" está quedando algo torcida, en cuestión de milisegundos la mano debe adecuar su movimiento a la corrección, en este caso enderezamiento.

COCINAR

CARACTERÍSTICAS OCULARES

Convergencia y acomodación: Como en las anteriores, no es viable cocinar apropiadamente si vemos con poca nitidez, especialmente con especias y alimentos más difíciles de diferenciar.

Agudeza visual estática: Tenemos que poder distinguir a simple vista y rápidamente la sal y el azúcar, el colorante y la canela

Visión binocular: Para calcular la profundidad y acertar con tamaños y distancias a la hora de cortar, verter en la olla...

CARACTERÍSTICAS RELACIONADAS CON EL CEREBRO

Distinción de colores: Un pimiento bueno de uno malo se puede distinguir principalmente por la vista, por el olfato o por el gusto, siendo la vista en muchos casos la manera más práctica.

Coordinación ojo-mano: A la hora de cortar muy fina una patata, se requiere una elevada precisión

OCIO VISUAL

CARACTERÍSTICAS OCULARES

Convergencia y acomodación: De nuevo, enfocar correctamente y ver nítido es imprescindible para una buena experiencia visual.

Movimientos sacádicos: Si nos estamos fijando en una esquina de la pantalla, y con la visión periférica detectamos algún estímulo que llama nuestra atención en la esquina, dirigiremos nuestra mirada a él con un movimiento de saccade.

Movimientos de seguimiento: Nos permite seguir con mayor precisión y menor esfuerzo elementos móviles que aparecen en escena

Fijación: En muchas ocasiones, viendo una serie, se mantiene la vista fija en un personaje, o una parte concreta. Una fijación bien entrenada nos permitirá no cansarnos en exceso y obtener una imagen estable.

Agudeza visual estática: Al igual que en la vida real, nos va a permitir distinguir elementos en la pantalla con mucha precisión.

Agudeza visual dinámica: Igual que la anterior, pero elementos en movimiento, un ladrón que escapa en coche, o fuera de la pantalla, identificar qué futbolista se acerca a la portería rival. (Como espectador)

Visión periférica: Permite identificar estímulos que requieren la atención sin tener que tener el foco visual apuntando ahí. Por ejemplo, una acción que ocurre en segundo plano

CARACTERÍSTICAS RELACIONADAS CON EL CEREBRO

Distinción de colores: Ayuda a distinguir elementos, o en el caso de los deportes (como espectador) pertenencia a diferentes equipos.

Memoria visual: Al igual que ocurre con la lectura, ayuda a retener información sobre aquello que estamos viendo

TAREAS DE LIMPIEZA

CARACTERÍSTICAS OCULARES

Convergencia y acomodación: Si la visión es borrosa, difícilmente se va a distinguir lo sucio de lo limpio

Agudeza visual estática: Nos ayudará a reconocer objetos con precisión para poder determinar su estado de limpieza.

Visión binocular: Facilita el cálculo de profundidades, muy importante tanto para ver lo que está sucio como para limpiarlo

Visión periférica: Permite, sin necesidad de mirar al punto que está sucio, darse cuenta de que efectivamente está sucio.

CARACTERÍSTICAS RELACIONADAS CON EL CEREBRO

Distinción de colores: El color es un signo que indica deterioro o suciedad entre otras cosas. Si solo se reconocen tres tipos de blanco, igual uno de ellos ensuciado nos parece el mismo que limpio.

Distinción del objeto de su background: El polvo puede fácilmente pasar desapercibido camuflado en su background, especialmente en el caso de alfombras.

Coordinación ojo-mano: Para limpiar toda suciedad, hay que ajustar tanto la posición como la fuerza que se ejerce con la mano. Esto viene calculado con la información procedente del ojo.

OTROS

HACER DEPORTE

- Convergencia, acomodación, agudeza visual dinámica, visión binocular, flexibilidad acomodativa y visión periférica.
- Distinción objeto de su background, visual closure, visual memory, rapidez de reconocimiento, detección de información mínima crucial, automatizar la percepción visual y coordinación ojo-mano.

PASEAR

- Convergencia, acomodación, saccades, pursuits, agudeza visual estática, visión binocular y visión periférica.
- Distinción objeto de su background, visual closure, visual memory, rapidez de reconocimiento (situaciones urgentes), automatizar percepción visual y coordinación ojo mano.

RECONOCER GENTE

- Visión periférica, convergencia y acomodación y agudeza visual estática.

- Visual memory y visual closure.

Anexo 4 CARGA VISUAL EN LA VIDA COTIDIANA POR EDAD

Se analizan las características de vida de cada sector de la población según su edad y a partir de ellas las habilidades visuales más utilizadas. Aparecen subrayadas aquellas más predominantes.

JUVENTUD

- **CARACTERÍSTICAS DE VIDA:**
 - Estudian y/o trabajan.
 - Estilo de vida activa (realización de deporte)
 - Capacidades visuales en su máximo esplendor

- **CARACTERÍSTICAS VISUALES MÁS UTILIZADAS:**
 - **Movimientos sacádicos y de seguimiento:**
 - Es el rango de edad que más lee (en la lectura los movimientos sacádicos y de seguimiento son fundamentales)
 - **Agudeza visual dinámica**
 - El estilo de vida activo que llevan les hace tener que manejar información captada en movimiento.
 - **Visión binocular**
 - El cálculo de profundidad es importante al vivir "rápido". Hacen deporte, salen de fiesta, viajan a la aventura (a diferencia de la franja de la población más mayor)
 - **Reacción visual a un cambio de luz**
 - Especialmente al tener en cuenta que son conductores inexpertos
 - **Visibilidad con luminosidad reducida**
 - Franja de la población más nocturna
 - **Visión periférica**

- Realizan actividades con estímulos en la periferia (deportes en general, viajes, conducción)
- **Memoria visual**
 - Facilita enormemente el estudio.
- **Automatizar percepción visual**
 - Son muy propensos a realizar actividades en multitarea, conducir mientras hablan por teléfono, ver una serie y estar mandando mensajes... (Estas actividades exigen carga cognitiva y puede ser beneficioso liberar la carga visual)

MADUREZ

- **CARACTERÍSTICAS DE VIDA:**

- Trabajan (hoy en día cabe destacar el uso excesivo de pantallas que puede moldear sus características visuales)
- Estilo de vida semiactivo.
- Estrés (debido a mayores responsabilidades que en la anterior etapa)
- Multitarea (especialmente en aquellos con hijos)

- **CARACTERÍSTICAS VISUALES MÁS UTILIZADAS:**

- **Movimientos sacádicos y de seguimiento**
 - Al igual que la juventud, también deben leer mucho, aunque tal vez más para trabajo y menos de ocio lo que incrementa la presión.
- **Reacción visual a un cambio de luz**
 - En la conducción.
- **Visión periférica**
 - Realizan actividades con estímulos en la periferia (como vigilar los niños mientras conducen).
- **Memoria visual**
 - Les ayuda a recordar lo que falta en casa para comprar, la fecha del baile de su hijo, el partido de su hija, etc.
- **Automatizar percepción visual**
 - Realizan varias tareas simultáneamente, como realizar una llamada de negocio, conducir y vigilar a los niños.

VEJEZ

- **CARACTERÍSTICAS DE VIDA:**

- Capacidades visuales mermadas por la edad.
- Estilo de vida inactivo (poca conducción, deporte...)
- Tranquilidad (poco estrés por lo común).

- **CARACTERÍSTICAS VISUALES MÁS UTILIZADAS:**

- **Convergencia y acomodación**

- Debido a que su coordinación ojo-mano también está mermada, si ven el objeto borroso les resulta muy complicado alcanzarlo o realizar cualquier acción con él.

- **Agudeza visual estática**

- El ojo pierde facultades y cada vez les cuesta más hacer actividades que requieren precisión visual como la lectura.

- **Visión binocular**

- Debido a que su coordinación ojo-mano también está mermada, si no calculan la distancia con precisión les resulta muy complicado alcanzarlo o realizar cualquier acción con él.

- **Visión periférica**

- Al pasear (una actividad muy frecuente entre la población mayor) necesitan estar pendientes de los coches que vienen, peatones, etc.

- **Distinción de forma**

- Tienden a confundir unas cosas con otras (unos productos del súper con otros)

- **Memoria visual**

- La memoria se deteriora bastante con la edad, entrenarla les puede ayudar a recordar los medicamentos que deben tomar, por ejemplo.

- **Coordinación ojo-mano**

- Les resulta muy complicado reajustar la trayectoria de la mano de forma rápida una vez su mano ya ha iniciado el movimiento, Esto deriva en imprecisiones a la hora de realizar ciertos movimientos.

Anexo 5 IMPACTO DE LAS CARACTERÍSTICAS VISUALES EN LOS E-SPORTS

A continuación, se explican las dinámicas de funcionamiento de 3 de los juegos más populares en los esports: LoL, Fifa y Fortnite. A partir de ello, se lleva a cabo un análisis de los movimientos visuales requeridos para determinar qué características visuales predominan.

LOL

- **Dinámica de funcionamiento:**
 - Dos equipos de 5 jugadores (más frecuente, aunque puede variar el número) buscan destruir el Nexo enemigo. (Un objeto)

- **Movimientos visuales requeridos:**
 - La visión del juego se puede centrar en tu personaje, pero lo común es liberarla de tu personaje para tener mayor libertad a inspeccionar el entorno. (incluso perdiendo de vista a tu personaje). Aparecen en una barra abajo de la pantalla “poderes” que puedes adquirir, abajo a la derecha un mapa (que es muy frecuente mirar) y arriba a la izquierda las métricas de los jugadores que clicas para ver sus “métricas”.

- **3 habilidades visuales predominantes:**
 - Motilidad ocular (movimientos sacádicos, de seguimiento y de fijación), visión periférica y automatización de la percepción visual.

FIFA

- **Dinámica de funcionamiento:**

- Consiste en jugar un partido de fútbol intentando ganarlo. Simula las condiciones reales de un partido de fútbol, con once jugadores y se controla a un jugador que puedes ir cambiando entre los once, además de planteamientos colectivos de estrategias que hacen que el equipo entero presione más arriba, abajo etc. Tiene mucho peso la habilidad con los botones del mando.

- **Movimientos visuales requeridos:**

- La visión del juego se puede cambiar, siendo la más común la indicada en la foto, viendo el campo casi al completo. La vista va fijada en la pelota, teniendo cerca de ella (bien porque tiene la pelota o bien porque la intenta robar) al jugador que manejas y más lejos en la periferia el resto de ellos.

- **3 habilidades visuales predominantes:**

- Motilidad ocular (movimientos sacádicos, de seguimiento y de fijación), visión periférica y coordinación ojo-mano.

FORNITE

- **Dinámica de funcionamiento:**

- Tiene dos variantes. Por una parte, la versión de un solo jugador, una aventura de supervivencia en el que tu misión será reunir a los supervivientes de un mundo devastado y, por la otra, el Battle Royale, en el que tendremos que competir por ser el último usuario en pie (matando al resto de adversarios)”

- **Movimientos visuales requeridos:**

- La visión del juego está centrada en tu personaje por lo que requiere centrar la vista en él y otear a la vez los adversarios en la periferia. Arriba a la izquierda aparecen indicadores de vida (no hace falta mirarlos con frecuencia), abajo a la derecha diferentes armas (se pueden activar con las teclas, no hace falta mirarlos para clicar) y arriba a la derecha el mapa que si conviene mirar de vez en cuando.

- **3 habilidades visuales predominantes:**

- Motilidad ocular (movimientos sacádicos, de seguimiento y de fijación), visión periférica y automatización de la percepción visual.

Anexo 6 SOFTWARE EN DETALLE

La lógica del juego y del entrenamiento se encuentran desarrolladas en el script principal que entra el juego a través un componente.

A continuación, se explican algunos de los puntos clave de este software que ha sido desarrollado con la idea de ser un programa versátil que permita personalizar al máximo el entrenamiento por lo que aparecen muchas variables parametrizadas.

En la figura 16 se muestran los tres tipos de variables que existen en este script.

```
public Text mensajesmedicion;
public Text mensajesmedicion2;
public bool medir;
public int placebo;
public string[] botonestexto;
public Image[] imagenes;

public int rondasMedir = 5;
public bool replicarPartida;
public string partidaaReplicar;
public string nombreJugador = "anonimo";
public int dificultad = 5;
public int rondas = 5;
public bool clasificarPrimero;

private string orden;
private int limitemedir = 1;
private int proceso = 1;
private string path;
private string buffer = "";
private int dificultadMaxima = 5;
private int score = 0;
private int fallos = 0;
```

Figura 16: Muestra de los tres tipos de variables que existen en el script del entrenamiento y medición.

El primer grupo de variables públicas se utiliza para integrar los componentes de la escena en el script. De esta manera, cuando se modifique la variable *mensajesmedicion* que se encuentra unida a un componente Text de la escena, se cambiará el texto que se muestra en el juego.

El segundo grupo de variables son las variables parametrizadas comentadas con anterioridad. Aparecen en el menú lateral de la escena en Unity como se puede apreciar en la figura 17 por lo que no es necesario entrar al código para cambiar su valor. Algún ejemplo de estas variables son las rondas que se juegan en la partida, el nombre del sujeto (para guardar los datos), si se

desea replicar una partida anterior, etc. Aquellas que tienen un valor asignado, corresponde al valor que tomarían si el usuario deja esa casilla en blanco. Por ejemplo, si no introduce nombre, se guarda cómo anónimo.

Rondas Medir	20
Replicar Partida	<input type="checkbox"/>
Partidaa Replicar	
Nombre Jugador	Jorgito
Dificultad	5
Rondas	3
Clasificar Primero	<input type="checkbox"/>

Figura 17: Panel lateral dónde se pueden modificar las variables parametrizadas sin necesidad de cambiar el código.

El último grupo de variables son aquellas que corresponden al funcionamiento interno del juego. Un ejemplo de ello es el marcador. Esta variable que comienza en 0 es interna ya que solo se incrementa cuando el sujeto marca una letra correcta.

Un aspecto crucial de este script es la comunicación con el Eye Tracker. En primer lugar, se debe incluir el *namespace* de Tobii para que el programa entienda palabras clave como Eye Tracker. A continuación, se declara una variable estática EyeTracker que se instancia para que conecte con el instrumento. Esta variable contiene toda la información que registra el Eye Tracker, pero funciona de una forma no trivial. Para conocer las coordenadas de la posición de la vista en la pantalla, se debe pedir al Eye Tracker la información del último rayo enviado de manera conjunta por tus dos ojos. Una vez conocemos los datos del rayo, se proyecta con el módulo *Physics* sobre un punto de la pantalla que ahora sí, tiene unas coordenadas x e y. En la figura 18 se muestra el proceso completo de obtención de información del Eye Tracker, en concreto en el caso de calibración previa a la medición, aunque se realiza de la misma manera siempre.

```

if (_eyeTracker == null)
{
    ray = default(Ray);
    valid = false;
}
else{
    var datos = _eyeTracker.LatestGazeData;
    ray = datos.CombinedGazeRayScreen;
    valid = datos.CombinedGazeRayScreenValid;
}
if (valid)
{
    RaycastHit hit;
    if (Physics.Raycast(ray, out hit))
    {
        Debug.Log(contador + "/" + hit.point.x + "/" + hit.point.y);
        positions[contador] = hit.point.x;
        positions[contador+1] = hit.point.y;
    }
}
}

```

Figura 18: Ejemplo de obtención de las coordenadas de la posición ocular del Eye Tracker.

La forma de ejecución de C Sharp es totalmente diferente a la mayoría de los lenguajes utilizados previamente. Si un thread modifica una variable y luego entra en bucle (por un error de programación o por lógica del programa), no se observa el cambio de la variable hasta que finaliza el bucle. Este aspecto se desconocía al comienzo y supuso un quebradero de cabeza, en especial en el debugging y en la parte de la medición debido a que se debía comprobar si el sujeto seguía manteniendo la vista en el cuadrado central y nada más se detectaba que la cambiaba, comprobar cuando llegaba a la posición del nuevo cuadrado. Esta sucesión de 2 bucles seguidos y el desconocimiento de la forma de ejecución de C Sharp supuso una de las mayores dificultades técnicas. Finalmente se resolvió con el método update que se encuentra por defecto junto con el método start en todos los scripts. El método start se ejecuta una vez al comienzo de la ejecución y update cada vez que cambia “algo” del programa, como por ejemplo una variable. De esta manera, en los casos complicados de comunicación, se cambia el valor de una variable y posteriormente el método update ejecuta una cosa u otra dependiendo de su valor. En la figura 19 se muestra un ejemplo de esto.

```

void Update()
{
    if (orden == "finMedicion"){
        for (int i = 0; i < 5; i++)
        {
            imagenes[i].enabled = false;
        }

        System.TimeSpan tiempoSalir = salgoCuadrado - startSaccade;
    }
}

```

Figura 19: Ejemplo del patrón de comunicación utilizado en los casos de comunicación más complejos.

Por otro lado, para la guardar las partidas se escriben los datos básicos de las mismas en un fichero de texto, tanto las letras que aparecen en la sopa como los resultados que obtiene el sujeto en aciertos y fallos. Para escribirlo se utiliza el método *WriteAllText* de la clase *File* y para leerlo *StreamReader* con el método *ReadToEnd*. Como se decide el formato de escritura, es directo leerlo los datos para replicar la partida, con la ayuda de métodos como *Split* y *Parse*.

Los tiempos de medición que se utilizan tanto en el test como en el entrenamiento se recogen con *System.DateTime* y se almacenan en variables *System.TimeSpan*.

Por último, debido a que se repiten ciertas acciones con frecuencia se encapsulan en funciones para favorecer un código más limpio y modular.

Hay algunas funcionalidades que están implementadas pero que no se utilizan en el estudio piloto por cuestiones propias del protocolo del estudio. Un ejemplo de ellas es el diferente nivel de dificultad de entrenamiento, que tiene desarrollado un propio test que clasifica a los usuarios del 1 al 5 en base a sus resultados en un nivel intermedio. Para el test se descartó porque era complicado argumentar los criterios de clasificación de cara a la validez científica del estudio. De esta manera se decidió que todos tuvieran el mismo nivel.

El desarrollo del Software ha supuesto uno de los mayores retos de este trabajo al ser un terreno nuevo (medición biométrica) con un lenguaje de programación que nunca se había utilizado, C Sharp.

Anexo 7 RESULTADOS DEL ESTUDIO PILOTO EN DETALLE

A continuación, se muestran de forma numérica y con gráficas los resultados de los sujetos participantes en el estudio piloto.

Las figuras 20, 21, 22 y 23 muestran los resultados de cada sujeto individualmente por rondas y días de entrenamiento.

KACPER	RONDA 1	RONDA 2	RONDA 3	RONDA 4	TOTAL DÍA	MEDIA RONDA DÍA
DIA 1	6	7	9	9	31	7,75
DIA 2	9	12	6	13	40	10
DIA 3	11	14	20	15	60	15
DIA 4	13	18	20	26	77	19,25
DIA 5	18	17	17	20	72	18

Figura 20: Resultados de Kacper (sujeto activo) en el entrenamiento por día y ronda.

MISHA	RONDA 1	RONDA 2	RONDA 3	RONDA 4	TOTAL DÍA	MEDIA RONDA DÍA
DIA 1	6	7	8	13	34	8,5
DIA 2	7	10	7	9	33	8,25
DIA 3	17	15	15	18	65	16,25
DIA 4	22	18	23	15	78	19,5
DIA 5	23	19	13	19	74	18,5

Figura 21: Resultados de Misha (sujeto activo) en el entrenamiento por día y ronda.

PEDRO	RONDA 1	RONDA 2	RONDA 3	RONDA 4	TOTAL DÍA	MEDIA RONDA DÍA	MODIFICADO
DIA 1	7	22	21	23	73	18,25	
DIA 2	21	20	20	21	82	20,5	
DIA 3	19	16	11	17	63	15,75	15,75
DIA 4	31	18	19	17	85	21,25	18
DIA 5	19	27	17	20	83	20,75	20,75

Figura 22: Resultados de Pedro (sujeto activo) en el entrenamiento por día y ronda. El modificado corresponde a los resultados eliminado los primeros dos días debido a que se contabilizó erróneamente por un aspecto técnico en el caso de Pedro y corrigiendo el día 4 en la ronda en la que confesó haber utilizado la visión focal.

JUAN	RONDA 1	RONDA 2	RONDA 3	TOTAL DÍA	
DIA 1	4	11	8	23	5,75
DIA 2	2	4	8	14	3,5
DIA 3	6	5	8	19	4,75
DIA 4	9	5	11	25	6,25

Figura 23: Resultados de Juan (sujeto placebo) en el entrenamiento por día y ronda.

Para visualizarlos mejor se presentan a continuación en forma de gráfica en la figura 24 los sujetos activos y en la figura 25, el sujeto Placebo Juan.

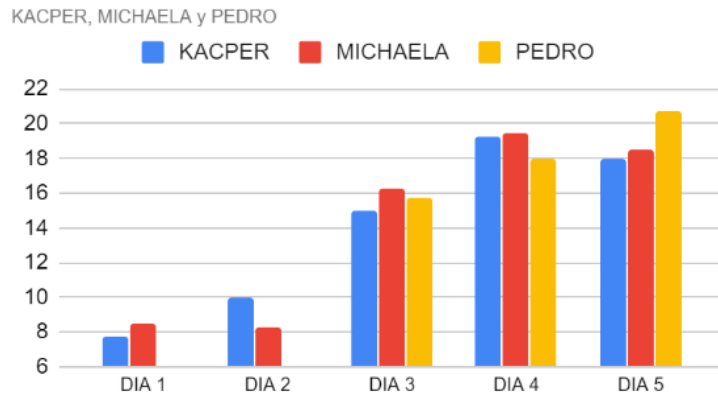


Figura 24: Resultados del entrenamiento de los sujetos activos. (El eje vertical corresponde a letras media por ronda cada día)

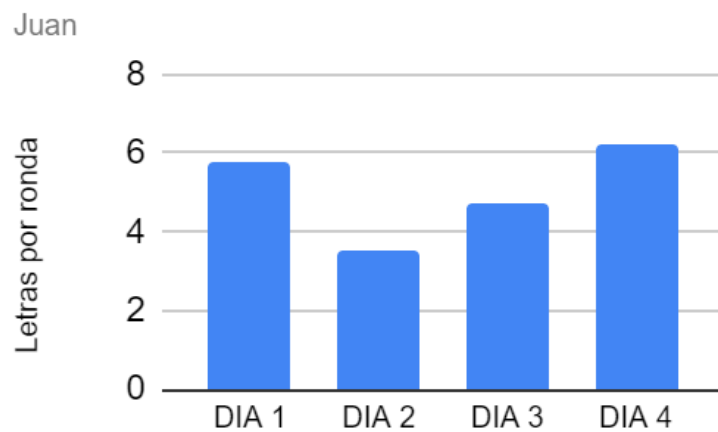


Figura 25: Resultados del entrenamiento del sujeto placebo Juan. (El eje vertical corresponde a letras media por ronda cada día)

Del mismo modo, se muestran los resultados antes y después del entrenamiento, del test de medición del protractor. La figura 26 refleja un resumen de los resultados numéricos obtenidos por cada sujeto junto con el porcentaje de mejora que eso representa.

	KACPER PRE	KACPER POST	MICHAELA PRE	MICHAELA POS	PEDRO PRE	PEDRO POST	JUAN PRE	JUAN POST
COLOR (°)	88,63	89,75	81,44	81,88	83,95	87,1	76,91	88,45
LETRA (°)	69,44	74,50	49,19	53,69	53,15	58,45	55,82	71,50
% COLOR		1,27		0,54		3,75		15,01
% LETRA		7,29		9,15		9,97		28,09

Figura 26: Resultados individuales pre y post entrenamiento del test del protractor separado en color y forma

Con el objetivo de apreciar con mayor claridad el progreso de cada uno de manera individual, se muestran las gráficas 27, 28, 29 y 30.

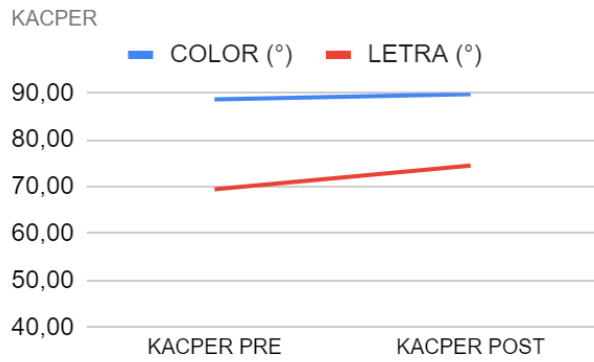


Figura 27: Progreso de Kacper (sujeto activo) en el test protractor.

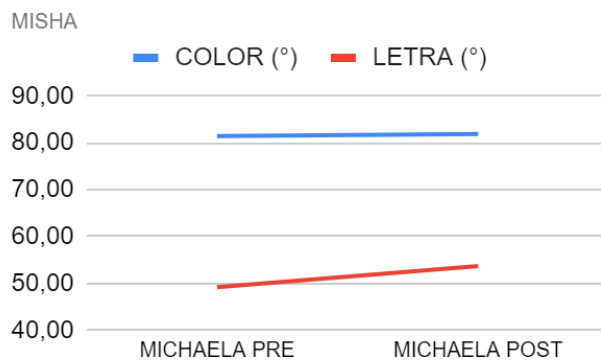


Figura 28: Progreso de Misha (sujeto activo) en el test protractor.

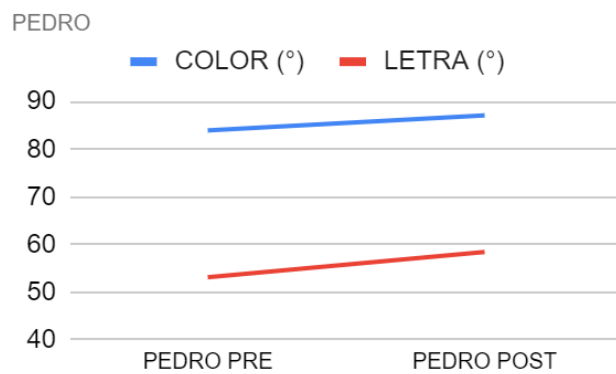


Figura 29: Progreso de Pedro (sujeto activo) en el test protractor.

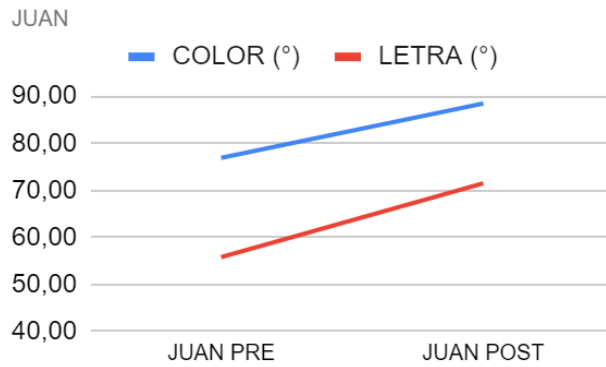


Figura 30: Progreso de Juan (sujeto placebo) en el test protractor.

Para acabar y de la misma forma que se ha llevado a cabo en el test protractor, se muestran de forma conjunta los resultados numéricos del test de motilidad ocular en la figura 31 y el progreso individual de cada sujeto en las gráficas 32, 33, 34 y 35.

En los resultados se separa la medida en salir y recorrido. Salir corresponde al tiempo que el sujeto tarda en reaccionar al estímulo e iniciar el movimiento y recorrido en llegar del cuadrado A al B. Total equivale a la suma de ambos.

Es importante tener en cuenta que en este test se produce una mejora cuando se obtiene un tiempo menor. Es decir, si la línea de la gráfica del tiempo es ascendente los sujetos empeoran.

	KACPER PRE	KACPER POST	MICHAELA PRE	MICHAELA POS	PEDRO PRE	PEDRO POST	JUAN PRE	JUAN POST
SALIR	0,303	0,325	0,287	0,305	0,236	0,245	0,265	0,307
RECORRIDO	0,014	0,025	0,019	0,021	0,016	0,016	0,015	0,015
TOTAL	0,317	0,350	0,306	0,326	0,252	0,261	0,280	0,322
% MEJORA (TOTAL)		-10,213		-6,603		-3,692		-14,691

Figura 31: Resultado numérico de todos los sujetos en el test de motilidad ocular

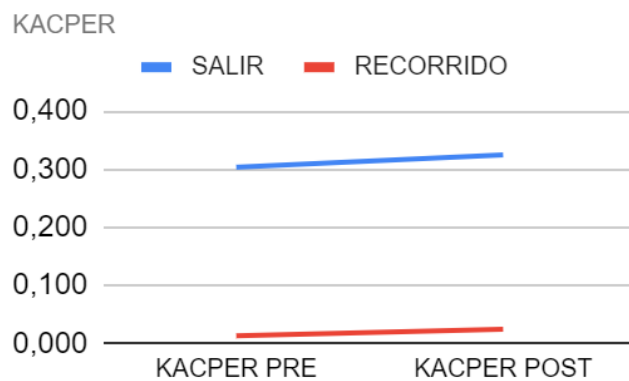


Figura 32: Progreso de Kacper (sujeto activo) en el test de motilidad ocular.

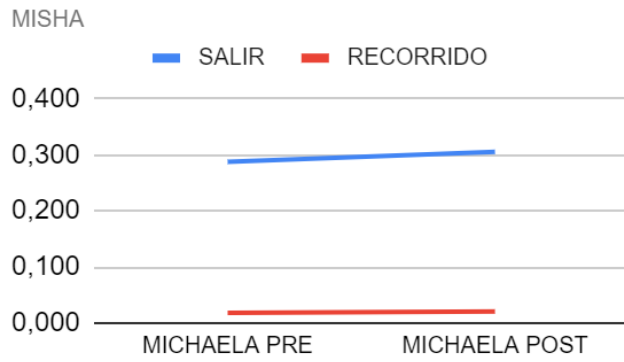


Figura 33: Progreso de Misha (sujeto activo) en el test de motilidad ocular.

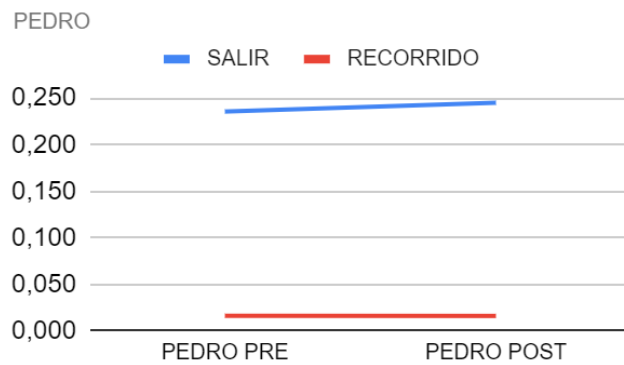


Figura 34: Progreso de Pedro (sujeto activo) en el test de motilidad ocular.

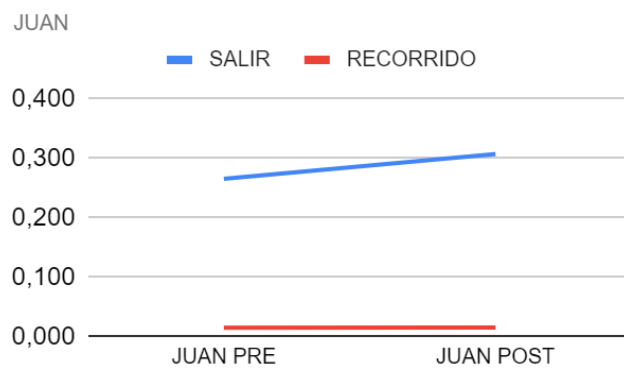


Figura 35: Progreso de Juan (sujeto placebo) en el test de motilidad ocular.